

Phyt.

516

æll

Phyt.

516 x 16

Pfeffer

UNTERSUCHUNGEN
AUS DEM
BOTANISCHEN INSTITUT ZU TÜBINGEN

HERAUSGEGEBEN
VON
DR. W. PFEFFER
PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT IN TÜBINGEN.

ERSTER BAND.

3. Heft.

	Seite
IX. <u>W. Pfeffer</u> , Locomotorische Richtungsbewegungen durch chemische Reize	363

LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1884.

Inhaltsübersicht.



	Seite
I. Einleitung	363
II. Farnkräuter	
1. Allgemeines über die Samenfäden und die Untersuchungsmethode . .	367
2. Näheres über das Einschwärmen der gereizten Samenfäden in Capil- laren.	373
3. Die Reizschwelle	379
4. Einfluss hoher Concentration und mechanischer Hemmungen. . . .	384
5. Verhältniss zwischen Reizgröße und Reaktionsgröße	395
6. Methodisches	409
7. Einschwärmen der Samenfäden in das Archegonium	415
III. Selaginella	422
IV. Marsilia	423
V. Laubmoose	430
VI. Lebermoose	434
VII. Chara.	438
VIII. Gameten und Volvocineen	444
IX. Rückblick und Hinweis auf andere Fälle	446
X. Spaltpilze	449
XI. Saprolegnia, Flagellaten, Infusorien	466
XII. Allgemeines	468
XIII. Zusammenfassung einiger Resultate	479

IX.

Locomotorische Richtungsbewegungen durch chemische Reize.

Von

W. Pfeffer.

I. Einleitung.

Die Lebensthätigkeit der Pflanze ist durchaus an die Wechselwirkung mit der Außenwelt gekettet, durch welche Nährmaterialien geliefert und überhaupt die allgemeinen Bedingungen gewährt werden, die es dem Organismus ermöglichen, in der ihm spezifischen Weise seine Entwicklung und Thätigkeit zu vollziehen. Während ihres Lebenslaufes ist aber die Pflanze durch den Wechsel äußerer Verhältnisse vielfachen und zum Theil bedeutungsvollen Reizwirkungen ausgesetzt, auf die, nach Maßgabe der spezifischen Empfindlichkeit und Actionsfähigkeit, mit Bewegungen und anderweitigen Vorgängen in mehr oder weniger auffälliger Weise geantwortet wird.

Halten wir Umschau unter den bekannt gewordenen äußeren Reizen, so begegnen uns als auslösende Agentien sowohl Imponderabilien als materielle Wirkungen¹⁾. Unter den Imponderabilien ist nur für den Magnetismus bis dahin eine Reizwirkung nicht entdeckt worden, während bekanntlich durch Licht und Wärme²⁾ zahlreiche auslösende Wirkungen erzielt werden, unter denen besonders Wachstums- und Bewegungsvorgänge vielfach Gegenstand der Untersuchung waren. Lange bekannt ist auch

1) Näheres in meiner Pflanzenphysiologie Bd. 2. p. 446, 476, 285 u. a.

2) Auffällige Bewegungen erzielt z. B. Temperaturwechsel in manchen Blüten. Ein dem Heliotropismus entsprechender Thermotropismus wurde neuerdings von WORTMANN (Bot. Zeitung 1883, p. 457) nachgewiesen.

die Empfindlichkeit von *Mimosa pudica* für elektrische Entladungen, und neuerdings wurden elektrische Ströme als Ursache einer Krümmungsbewegung nachgewiesen, die mit J. MÜLLER als Galvanotropismus bezeichnet sein mag¹⁾.

Im Geotropismus begegnen wir einer Reizkrümmung, hinsichtlich deren wir hier unentschieden lassen wollen, ob und in wie weit die auslösende Action durch die Massenanziehung unseres Planeten mit anderen Reizen vergleichbar ist, in denen nur bei direkter Berührung mit der als Reiz wirksamen Materie die Auslösung zu Stande kommt. Dahin gehören die bekannten Reizbewegungen der *Mimosa pudica*, der Staubfäden der Cynareen, der Ranken u. a., in welchen jeder beliebige feste Körper, sei es durch Stoß oder durch längere Berührung die auslösende Ursache werden kann, ferner zählen hierher der durch die psychrometrische Differenz der umgebenden Luft bedingte Hydrotropismus und die von der chemischen Qualität des Agens abhängigen auslösenden Wirkungen, welche wir als chemische Reize zusammenfassen können. Die fleischverdauenden Pflanzen bieten bekannte Beispiele solcher chemischen Reize, in denen zum Theil eine staunenswerth geringe Stoffmenge zur Auslösung genügt; doch auch durch Zufuhr oder Mangel von Nährstoffen, durch Chloroform und andere Körper kommen vielfach Wirkungen zu Stande, welche zur Kategorie der Reizwirkungen gehören.

Bekanntlich entscheidet durchaus die spezifische Eigenschaft der Pflanze, resp. eines Organes dieser, ob ein Agens als Reiz wirkt und in welcher Weise sich die ausgelöste Action abspielt. Während z. B. manche Reize Beschleunigung oder Verlangsamung des Wachsens oder anderer Thätigkeiten erzielen, rufen andere Reize Krümmungsbewegungen hervor, welche entweder, wie bei *Mimosa pudica*, *Dionaea* u. a., stets in einer von der Organisation abhängigen fest bestimmten Ebene sich vollziehen oder deren Richtung, wie im Heliotropismus und Geotropismus, von der Angriffsrichtung des Reizes abhängt.

Solche Bewegungen, deren räumliche Orientirung von der Angriffsrichtung des Reizes abhängt, führen sowohl die freier Ortsbewegung entbehrenden, als die zu locomotorischer Bewegung befähigten Pflanzen aus. So werden bekanntlich viele Schwärmzellen von Algen durch einseitige Beleuchtung veranlasst, eine der Lichtquelle zugewandte oder von dieser abgewandte Bewegungsrichtung einzuschlagen, und die kriechenden Plasmodien der Myxomyceten bewegen sich vom Lichte hinweg²⁾. Übrigens werden auch von fester Membran umkleidete Protoplastkörper innerhalb des ihnen in der Zelle zu Gebote stehenden Raumes durch Licht zu Bewe-

1) ELFVING, Bot. Zeitung 1882. p. 257; JOH. MÜLLER (Hettlingen), PFLÜGER'S Archiv 1883. Bd. 31. p. 200.

2) Vgl. PFEFFER, Pflanzenphysiologie 1884. Bd. 2. p. 367, 386.

gungen gereizt, wie die mit der Beleuchtung veränderliche Stellung der Chlorophyllkörner lehrt.

Die zu freier Ortsbewegung befähigten Organismen sind natürlich, so gut wie andere Pflanzen, gegen Reize mannigfacher Art empfindlich, von denen wir hier jedoch nur solche berücksichtigen wollen, welche räumlich orientirend wirken, also eine durch die Angriffsrichtung des Reizes bestimmte Bewegungsrichtung hervorrufen. In dieser Hinsicht ist, abgesehen von der erwähnten Lichtwirkung, noch die von ENGELMANN¹⁾ constatirte Thatsache bekannt, dass Bakterien und auch Infusorien in sauerstoffarmem Wasser sich nach Luftblasen u. s. w. hinbewegen, also, wie später noch zu besprechen sein wird, die abnehmende oder zunehmende Partiärpressung des Sauerstoffs einen räumlichen orientirenden Reiz ausübt²⁾.

Lassen nun auch verschiedene Beobachtungen an Samenfäden, an Spaltpilzen und an Schwärmzellen einiger parasitischer Pilze orientirende Reizwirkungen vermuthen, so ist doch Näheres über diese nicht bekannt, da nur die Thatsache irgend einer anziehenden Wirkung mehr oder weniger sicher constatirt wurde. Eine solche Anziehung zwischen Eizelle und Samenfäden der Fucaceen betonte zuerst THURET³⁾, und weiterhin hat dann besonders STRASBURGER⁴⁾ festgestellt, dass bei Farnen und bei Marchantia die Samenfäden von der aus dem Halse des Archegoniums sich entleerenden Masse angezogen werden, eine Anziehung, die HANSTEIN'S⁵⁾ Beobachtungen auch für Marsilia wahrscheinlich machen. Für Bakterien ist gelegentlich die Vermuthung ausgesprochen, sie dürften sich um Nährbissen sammeln, und auf die Schwärmzellen gewisser in Saprolegniaceen parasitisch lebender Pilze üben nach FISCHER⁶⁾ offenbar bestimmte Arten von Saprolegnia eine spezifische anziehende Wirkung aus.

Das bis dahin aus der Literatur Bekannte wird fernerhin noch näher berücksichtigt werden, so weit es die nachfolgend mitgetheilten Untersuchungen berührt, durch welche für gewisse Organismen spezifische chemische Reizwirkungen nachgewiesen werden. Zur vorläufigen Orientirung sei hier kurz auf einige der gefundenen Thatsachen hingewiesen.

Auf die Samenfäden sämmtlicher untersuchter Farnkräuter wirken Äpfelsäure und ebenso äpfelsaure Salze schon in sehr großer Verdünnung in der Art als Reiz, dass die Samenfäden, so lange eine gewisse Concentration des Reizmittels nicht überschritten wird, von der verdünnten zur

1) Botan. Zeitung 1881. p. 440; PFLÜGER'S Archiv f. Physiologie 1881. Bd. 26. p. 544 und 1882. Bd. 29. p. 386.

2) Vielleicht bewegen sich Plasmodien von Aethalium nach dem feuchteren Substrate hin. Vgl. PFEFFER, Physiologie Bd. 2. p. 388.

3) Annal. d. scienc. naturell. 1854. IV. Sér. Bd. 2. p. 17.

4) Jahrb. f. wiss. Botanik 1869—70. Bd. 7. p. 402.

5) Jahrb. f. wiss. Botanik 1865—66. Bd. 4. p. 249.

6) Jahrb. f. wiss. Botanik 1882. Bd. 13. p. 303.

concentrirten Lösung sich hinbewegen und dem entsprechend nach einem Punkte hinsteuern, von welchem aus Äpfelsäure in das umgebende Wasser diffundirt. Unter den zahlreichen untersuchten Stoffen wurde nur noch in der Maleinsäure ein Körper gefunden, der, wie die Äpfelsäure, ein spezifisches Reizmittel der Samenfäden der Farne ist.

Von Gefäßkryptogamen wurden noch die Samenfäden von *Selaginella* und *Marsilia* geprüft. Während die Spermatozoen von *Selaginella* in gleicher Weise gegen Äpfelsäure reagiren, wie die der Farne, verhielten sich gegen dieses Agens die Samenfäden von *Marsilia* indifferent. Aus den Archegonien dieser letztgenannten Pflanze wird zwar offenbar ein Stoff entleert, der anziehend auf die Samenfäden von *Marsilia* wirkt, doch konnte ich den hier als Reizmittel dienenden Körper nicht ermitteln.

Analog wie die Samenfäden der Farne auf Äpfelsäure reagiren die Samenfäden der Laubmoose ausschließlich auf Rohrzucker. Die Samenfäden der Lebermoose hinwiederum sind indifferent gegen die genannten und andere untersuchte Stoffe, während es auch für sie ein spezifisches, noch unbekanntes Reizmittel giebt, durch welches die aus den Archegonien entleerte Masse anziehend auf Samenfäden wirkt.

Für die Samenfäden von *Chara* konnte ich ebenfalls keinen anziehenden chemischen Stoff finden, obgleich ein solcher aus den Archegonien entleert wird. Ferner vermochte ich für die copulirenden Gameten von *Ulothrix zonata* und *Chlamydomonas pulvisculus* ein attraktives Reizmittel nicht zu entdecken. Die Samenfäden des Ochsen verhielten sich wenigstens gegen die im Fleischextrakt vereinigten Stoffe indifferent.

Diese Thatsachen machen uns also mit spezifischen Reizmitteln bekannt, deren Bedeutung für die Pflanze in der Vereinigung der Sexualzellen beruht. Chemische Reizmittel zu solchem Zwecke werden weitere Untersuchungen gewiss noch vielfach, so z. B. voraussichtlich für *Fucus*, *Sphaeroplea* und manche andere Algen entdecken, doch dürften nach den oben angedeuteten Resultaten nicht in allen Fällen die Sexualzellen anziehende chemische Reizwirkungen auf einander ausüben.

Für Bacterien ist nicht ein einzelner Stoff, sondern sind die verschiedensten guten Nährmittel Reize in der Weise, dass diese Organismen bei ungleicher Vertheilung der gelösten Nährstoffe dahin steuern, wo ihnen Nährmaterial am reichlichsten geboten wird. Bei diesen Organismen ist also im allgemeinen die Empfindung des Nährstoffmangels ein für die Bewegungsrichtung entscheidender Reiz, in analoger Weise, wie es die schon vorhin angedeutete Partiärpressung des Sauerstoffs ist.

Auf die Schwärmsporen von *Saprolegnia* übt diffundirendes Fleischextrakt einen Reiz, der es auch mit sich bringt, dass diese Schwärmsporen von Fliegenbeinen und überhaupt todtten animalischen Körpern angezogen werden. Nach Fleischextrakt hin steuert auch *Trepomonas agilis*, ein Or-

ganismus der Flagellaten, während auf *Euglena viridis* weder Fleischextrakt, noch Decocte von Pflanzen anziehend wirken.

Nach dieser vorläufigen Orientirung sollen nun zunächst die Reizwirkungen auf Samenfäden der Farnkräuter näher betrachtet werden.

II. Farnkräuter.

1. Allgemeines über die Samenfäden und die Untersuchungsmethode.

Die Thatsache, dass der aus dem geöffneten Archegonium der Farne sich entleerende Schleim anziehend auf die Samenfäden dieser Pflanzen wirkt, veranlasste die folgenden Untersuchungen, welche mich die Äpfelsäure als ein die Bewegungsrichtung dieser Samenfäden bestimmendes Reizmittel kennen lehrten. Mit dieser durch Äpfelsäure erzielten Reizbewegung wollen wir uns hier zunächst beschäftigen, um weiterhin auf die Ursache des Eindringens der Samenfäden in die Archegonien zurückzukommen.

Von der Reizwirkung der Äpfelsäure kann man sich sehr leicht überzeugen, indem man eine Lösung dieses Stoffes oder eines Salzes der Säure in eine einseitig zugeschmolzene Glascapillare füllt und diese mit ihrer Mündung in Wasser bringt, in welchem sich Samenfäden bewegen. Enthielt die in die Capillare gefüllte Flüssigkeit auch nur 0.01 Proz. Äpfelsäure, so bewegen sich doch sehr bald nach dem Hinzuschieben die Samenfäden nach der Mündung der Capillare hin, von welcher aus die Säure in das Wasser diffundirt. Zugleich dringen zahlreiche Samenfäden in die als Anziehungscentrum wirkende Capillare ein und im Laufe von 5 bis 10 Minuten können sich in der Capillare viele hundert Samenfäden anhäufen, wenn diese nur in genügender Zahl in dem umgebenden Wasser vorhanden sind. Die Äpfelsäure wirkt als freie Säure und als Salz in der gleichen Weise, und dass sie ein spezifisches Reizmittel ist, ergiebt sich daraus, dass in der gleichen Zeit vielleicht kein einziger Samenfaden in eine Capillare dringt, in welche Wasser oder die Lösung anderer Stoffe gefüllt war.

In solchem Hinzuschieben von Glascapillaren mit bekanntem Inhalt zu den in Wasser schwimmenden Samenfäden bestand die Methode, deren ich mich zu meinen Untersuchungen bediente. Die Capillaren waren an einem Ende zugeschmolzen und besaßen zumeist bei einem [lichten Durchmesser von 0.4 bis 0.44 mm eine Länge von 7—12 mm. Wo nichts anderes bemerkt, habe ich Capillaren von solchen Dimensionen im Auge, doch erhält man auch mit engeren oder weiteren Capillaren im Wesentlichen gleiche Resultate. Behufs der Füllung brachte ich die Capillaren in ein Uhrschildchen, welches die zu prüfende Flüssigkeit enthielt. Durch Einstellen des Schildchens unter die Glocke einer Luftpumpe und mäßige Verminderung

des Luftdruckes wurde dann erreicht, dass die Capillare von der Mündung ab auf eine Strecke von 2—4 mm mit Flüssigkeit injicirt war, während der oben zugeschmolzene Theil mit Luft erfüllt blieb. Von letzterem aus wurde die Flüssigkeit in der Capillare mit Sauerstoff versorgt und während der geringen und vorübergehenden Evacuation verlor die stets im luftgesättigten Zustand angewandte Flüssigkeit keine nennenswerthen Mengen der absorbirten Gase. Nach dem Abwaschen mit Wasser wurde dann die so zubereitete Capillare zu den Samenfäden geschoben.

Die Samenfäden von Farnen erhält man bekanntlich leicht, wenn man Antheridien führende Prothallien in Wasser bringt, und besonders dann entschlüpfen hierbei nach einiger Zeit Samenfäden in reichem Maße, wenn man die Prothallien zuvor einige Tage lang nur mäßig feucht hielt¹⁾. Ich benutzte namentlich kleine, zumeist 4 mm lange Prothallien, welche äußerst reichlich mit Antheridien bedeckt waren, während die der Regel nach erst später auftretenden Archegonien noch fehlten. Solche antheridienreiche Prothallien bilden verschiedene Farne, jedoch nicht alle gleich leicht, unter nicht näher ermittelten Culturbedingungen, unter denen aber geringere Beleuchtung und mäßiges Feuchthalten der Cultur eine hervorragende Rolle spielen dürften²⁾. Dem entsprechend findet man solche Prothallien in den Gewächshäusern häufig auf Torfstückchen, welche auf Töpfen, im Schatten von Pflanzen lagen. Aus dieser Quelle stammte auch mein Versuchsmaterial, das, wie die bei weiterer Cultur daraus erzogenen Pflänzchen lehrten, aus Prothallien von *Blechnum fraxineum* und *Adiantum cuneatum* bestand. Auf diese Farne beziehen sich zunächst die folgenden Untersuchungen, doch verhalten sich die Samenfäden anderer untersuchter Farnkräuter in wesentlich gleicher Weise.

Die abgespülten Prothallien kamen unter ein kleines Deckglas, das auf Streifen mäßig dicken Papiers ruhte, und wurden sogleich durch wiederholtes Durchsaugen von Regenwasser³⁾ abgewaschen. Es geschieht dieses, um die aus den verletzten Zellen tretenden Stoffe zu entfernen, mit ihnen die sich darunter befindende Äpfelsäure, deren Vorhandensein aus später anzuführenden Gründen störend, wenigstens in den Versuchen eingreifen würde, welche die Feststellung der Grenze der Empfindlichkeit der Samenfäden bezwecken. Der diffundirenden Äpfelsäure halber üben Prothallien, ebenso verletzte Theile anderer Pflanzen, eine anziehende Wirkung

1) Vgl. auch HOFMEISTER, Beiträge zur Kenntniss d. Gefäßkryptogamen. Bd. 2. 1857. p. 605, Anmerkung.

2) Nach BORODIN (Wirkung d. Lichtes auf einige höhere Kryptogamen, *Mélang. biologiques* 1868. Bd. 6. p. 538) bildet *Allosurus crispus* Antheridien an sehr rudimentären Prothallien, wenn die Sporen, nachdem eben die Keimung begann, ins Dunkle gebracht werden.

3) Destillirtes Wasser wirkt nachtheilig auf die Samenfäden.

auf Samenfäden aus und das Unterbleiben einer solchen ist zugleich ein Beweis für gutes Abwaschen der Prothallien.

Kleine Prothallien sind deshalb vortheilhafter, weil sie leichter gut auszuwaschen sind und weniger Raum unter dem Deckglas versperren. Letzteres wählt man besser von geringer Größe, damit einmal die Samenfäden sich nicht auf zu großer Fläche vertheilen und damit ferner Sauerstoffmangel in dem unter dem Deckglas befindlichen Wasser nicht so leicht eintritt. Übrigens vermochten 3 bis 5 Stück solcher kleinen Prothallien im Laufe von einer halben Stunde öfters wohl 4000 Samenfäden zu liefern. Diese erschienen bei Verwendung etwas trocken gehaltener Prothallien meist bald, sicher nach 5 bis 10 Minuten und wurden allmählich durch weiterhin sich öffnende Antheridien vermehrt.

Hinsichtlich Entleerung und Gestalt der Samenfäden habe ich nichts Neues zu dem Bekannten hinzuzufügen¹⁾. In den aus den Antheridien entleerten Mutterzellen bleibt der Samenfaden noch kurze Zeit eingeschlossen, bis er sich plötzlich, nach Quellung der Membran der Mutterzelle, aus diesem Gefängniss befreit, seinen in der Mutterzelle zwangsweise zusammengedrängten Körper zu der dann bleibenden Form streckt und eilend davon schwimmt.

Der Samenfaden der Farne hat bekanntlich eine conische, korkzieherartige Gestalt mit 2 bis 4 Windungen und verdickt sich nach dem hinteren Ende. Diesem hinteren Ende, zum Theil von der letzten Windung förmlich umfasst, hängt ein Bläschen an, das neben anderem Inhalt Stärkekörnchen führt. Die vorderen Windungen sind mit Wimpern besetzt, durch deren Thätigkeit die Bewegung vermittelt wird. In dieser geht das vordere Ende des Samenfadens voraus, während sich das Spermatozoid dauernd um seine Achse dreht, und unter gewöhnlichen Verhältnissen bei Beobachtung in Wasser die Gestalt des schraubig gewundenen Körpers unverändert bewahrt. Durch welchen Rhythmus der Bewegung die Wimpern die Fortbewegung vermitteln, ist noch nicht näher bekannt²⁾ und wurde auch von mir nicht weiter studirt.

Die Samenfäden der Farne schießen zwar unter dem Mikroskop sehr flink umher, legen aber bei gewöhnlicher Zimmertemperatur kaum mehr als 15 bis 30 Mikromillimeter in der Secunde zurück. Immerhin muss bei solcher Schnelligkeit eine erhebliche Bewegungskraft thätig sein, insbesondere da die am hinteren Ende mitgeschleppte Blase einen nennenswerthen Widerstand im Wasser veranlasst³⁾. Dieser wächst noch, wenn, was nach einiger Zeit bei manchen Samenfäden häufig vorkommt, die Blase durch Quellung

1) Vgl. STRASBURGER, Jahrb. f. wiss. Bot. 1869—70. Bd. 7. p. 395.

2) Vgl. PFEFFER, Pflanzenphysiol. 1881. Bd. 2. p. 364.

3) Die Samenfäden von *Adiantum cuneatum* sind im Mittel, die Blase mitgerechnet, doch ohne Berücksichtigung der Wimpern, etwa 15 Mikrom. lang und messen am breitesten Ende, also an der Blase etwa 8 Mikrom. im Durchmesser.

an Volumen zunimmt, und mit dem vermehrten Widerstand verlangsamt sich dann auch die Bewegung erheblich. Übrigens bewegte sich noch mit ungefähr $\frac{1}{3}$ der üblichen Schnelligkeit ein Samenfaden, der ein der Blase zufällig angeklebtes Sandkörnchen mitzuschleppen hatte, das, nach dem auf Grund seiner gemessenen Größe angestellten Calcül, die Hälfte bis $\frac{2}{3}$ des Gewichts des Samenfadens besessen haben dürfte. Auch in 10 prozentiger Lösung von arabischem Gummi, sowie in einer $\frac{1}{2}$ prozentigen, beim Erkalten eben merklich erstarrenden Gelatine arbeiteten sich die Samenfäden mit allerdings ansehnlich verminderter Schnelligkeit weiter. In diesen Medien wird übrigens zugleich die Bewegung der Wimpern gehemmt, und zwar sowohl durch den mechanischen Widerstand als auch durch die immerhin nennenswerthe osmotische Leistung der Gummilösung.

Die im Wasser schwärmenden Samenfäden behalten die Blase der Regel nach bis an ihr Lebensende, doch kann es auch zum Abreißen derselben kommen, wenn die Blase irgendwie festgehalten wird. Wir werden hiervon weiterhin zu sprechen haben und es sei hier nur bemerkt, dass die Blase auch vermöge ihrer eignen etwas klebrigen Beschaffenheit dann und wann adhärirt und so Veranlassung zum Abreißen des übrigen fortstrebbenden Samenfadenkörpers giebt.

Die Blase dürfte wohl die Bedeutung eines Behälters haben, aus welchem dem Samenfaden Nahrung zugeführt wird, deren er doch gewiss bedarf, wenn er 1 Stunde und mehr schwärmt und hierbei eine erhebliche Arbeit leistet. Übrigens verschwindet die Stärke in der Blase während des Schwärmens nicht auffällig und in einem Versuche mit Samenfäden von *Blechnum fraxineum* vermochte ich nach einstündigem Schwärmen nicht ganz sicher zu entscheiden, ob der Stärkevorrath in der Blase abgenommen hatte. In diesem Versuche wurde ein Wassertropfen, in welchen soeben zahlreiche Samenfäden sich entleert hatten, in 2 Theile getheilt, der eine Theil der Samenfäden sofort mit Jodlösung getödtet, der andere Theil im Hängetropfen einer Feuchtkammer während einer Stunde in Regenwasser gehalten. In diesen Samenfäden schien allerdings im allgemeinen der Stärkevorrath in der Blase etwas vermindert zu sein gegenüber den 1 Stunde früher getödteten, doch ergab wenigstens dieser zweimal wiederholte Versuch kein ganz entscheidendes Resultat.

Der einzelne Samenfaden beschreibt, während er um seine Achse sich drehend vorrückt, mit dieser Achse entweder eine gerade oder eine schraubige Linie, lenkt aber bei Beobachtung unter Deckglas häufig von seiner Bahn plötzlich ab und vollzieht nicht selten eine Wendung, die ihn mehr oder weniger zu seinem Ausgangspunkte zurückkehren lässt¹⁾. Soll nun auch zugegeben werden, dass aus inneren Ursachen Ablenkungen von

1) Näheres bei NÄGELI, in SCHLEIDEN und NÄGELI, Zeitschrift f. wiss. Botanik. 1844. Heft 4. p. 177.

der bisherigen Bahn veranlasst werden, so rühren doch letztere sicher zum größten Theil vom Anstoßen an fremde Körper, also allgemein von äußeren Widerständen her.

In einem großen und tiefen Hängetropfen einer Feuchtkammer steuerten in der That die Samenfäden, so lange sie frei in Wasser schwammen, der Regel nach gleichmäßig in ihrem Course, doch änderten einzelne diesen plötzlich, ohne dass irgend eine äußere Ursache zu entdecken gewesen wäre. Am besten ließ sich solches in einer klar filtrirten 40 prozentigen Gummilösung bei der stark verringerten Bewegungsschnelligkeit verfolgen und hier, wie in Wasser, konnte man beobachten, dass auch das Anstoßen an die freie Oberfläche des Tropfens zu Ablenkungen Veranlassung gab.

Beim Anstoßen an einen festen Körper wird die Bewegungsrichtung immer mehr oder weniger geändert, und dieses auch dann, wenn der Samenfaden so vorbeisteuert, dass nur der vordere Theil der langen Wimpern mit dem Körper in Contact kommt. So oft ich solches sah, war die Ablenkung eine solche, dass der Samenfaden sich von dem berührenden Körper entfernte, und dem entsprechend steuert auch ein Samenfaden, der gegen ein unter dem Deckglas gezogenes Fädchen oder Glasstreifchen anrennt, von diesem unter einem spitzen Winkel wieder hinweg, ohne dass übrigens der Einfallswinkel dem Ausfallswinkel jedesmal gleich ausfällt.

Bei senkrechtem Auftreffen wird ein Samenfaden auch wohl aufgehalten und setzt seine Achsendrehung, auf derselben Stelle verharrend, fort. In anderen Fällen prallt der senkrecht anstoßende Samenfaden etwas zurück, geräth hierbei in eine etwas geneigte Lage gegenüber seiner bisherigen Bahn, und wird nun vorwärtssteuernd, auch wenn er zunächst unter einem nur wenig vom Lothe abweichenden Winkel auftritt, in eine ihn von dem hemmenden Körper entfernende Bahn gelenkt.

Bei allem Anstoßen bewahrt der schraubenzieherartige Körper unverändert seine Gestalt, wie ich namentlich an Samenfäden verfolgte, deren Bewegung durch Gummischleim oder niedere Temperatur verlangsamt war. Also nicht durch Krümmung des Körpers des Samenfadens, sondern durch modificirte Thätigkeit der Wimpern wird die Ablenkung veranlasst. Dabei muss ich unentschieden lassen, ob zur Erzielung dieser nur die mechanische Hemmung durch Berührung oder ein durch Contact erzielter Reiz in Betracht kommt. Letzteres gewinnt an Wahrscheinlichkeit durch die weiterhin mitzutheilende Sensibilität der Wimpern von *Chlamydomonas pulvisculus*, die durch Berührungsreize vorübergehend zum Stillstand kommen. Solcher Stillstand freilich tritt nicht bei den Samenfäden der Farne ein, deren Wimpern während und nach einem Contacte dauernd weiter arbeiten.

Im freien Tropfen, wie unter Deckglas, erreichen die nach allen möglichen Richtungen wandernden Samenfäden eine gleichmäßige Vertheilung, sofern nicht solches durch besondere Gründe verhindert wird. Eine solche Vertheilung erreichen die Samenfäden ebenso in verdünnten homogenen

Lösungen von äpfelsaurem Natron, die z. B. 0.004 bis 0.4 Prozent Äpfelsäure enthalten, denn nur bei Concentrationsdifferenz wird durch Äpfelsäure ein die Direction bestimmender Reiz ausgeübt.

Einseitige Beleuchtung hat keinen Einfluss auf die Vertheilung der Samenfäden, wie ich mich in wiederholten Versuchen mit *Blechnum fraxineum* überzeugte, in denen die Samenfäden theils im Hängetropfen der Feuchtkammer, theils unter Deckglas einseitig beleuchtet wurden.

Ebenso wird durch Herabdrückung der gewöhnlichen Partiärpressung des Sauerstoffs ein richtender Reiz auf die Samenfäden nicht oder wenigstens nicht in erheblichem Maße ausgeübt. Den Samenfäden geht eine Empfindlichkeit ab, welche den Spaltpilzen zukommt, die unter solchen Umständen nach dem sauerstoffreicheren Wasser steuern, also am Rande des Deckglases oder um Luftblasen unter diesem sich anhäufen. Selbst in Präparaten, in welchen die zugesetzten Bacterien solches thaten, war eine derartige Tendenz der Samenfäden nicht zu finden. Ja häufig steuerten, sowohl bei Gegenwart, als bei Fehlen von Bacterien, Samenfäden vom Rande gegen die Mitte des ziemlich dicht aufliegenden Deckglases, während ihre Bewegung mit weiterer Entfernung vom Deckglas vermindert und endlich ganz sistirt wurde, sicher in Folge des relativ verminderten Sauerstoffgehaltes. Zuweilen schien es freilich, als ob eine ganz geringe Tendenz der Samenfäden vorläge, das lufthaltigere Wasser aufzusuchen, doch vermag ich dieses aus meinen nicht weiter ausgedehnten Beobachtungen nicht zu behaupten und muss die Entscheidung, ob eine ganz schwache derartige Reizbarkeit besteht, fernerer Untersuchungen überlassen.

Ein relativ sauerstoffreiches Wasser in einer unter Deckglas geschobenen Glascapillare giebt also den Samenfäden keine Veranlassung, in jene zu wandern, und in der That sieht man sowohl unter diesen, als auch unter anderen Bedingungen nur ganz vereinzelt ein Spermatozoid dann einschwärmen, wenn sein Weg zufällig in den Capillarmund führt. Gar häufig wird aber auch dann der Samenfaden in Folge der Berührung mit dem Glasrand abgelenkt, und dieserhalb begreift man, warum verhältnissmäßig recht selten in eine engere Capillare ein Samenfaden gelangt, wenn selbst sehr viele dieser um die Öffnung der Capillare herumschwimmen.

Ohne nähere Untersuchung darf man es doch unbedenklich als Folge relativer Sauerstoffarmuth im Wasser ansehen, dass unter Deckglas die Samenfäden kürzer leben, als in einem Wassertropfen, dessen Oberfläche frei der Luft exponirt ist. In dem Hängetropfen der feuchten Kammer schwärmten noch nach 4 Stunde eine Anzahl Samenfäden derselben Probe, von welcher unter einem auf Papierstückchen aufgelegten Deckglas nach 30 Minuten, unter einem dichter aufgelegten Deckglas nach 12 Minuten lebende Samenfäden nicht mehr übrig waren. Wie dieser Versuch wurden noch einige andere mit analogem Resultate bei einer Temperatur von 16—18° C. ausgeführt, indem eine kleine Wassermenge, in welche sehr zahl-

reiche Samenfäden ausgeschwärmt waren, in obiger Weise vertheilt wurde. Von der bald eintretenden relativen Sauerstoffarmuth rührt es auch offenbar her, dass Samenfäden in einer Capillare bald zu Grunde gehen, wenn sie in diese durch etwas Äpfelsäure in großer Menge gelockt werden, denn verdünnte Lösungen neutraler äpfelsaurer Salze verkürzen das Leben der Spermatozoiden nachweislich nicht.

Die Lebensdauer der Samenfäden machte ich zwar nicht zum weiteren Gegenstand meines Studiums, doch hatte ich Gelegenheit kennen zu lernen, dass jene bei verschiedenen Arten und Individuen differirt¹⁾. Beiläufig sei auch nur bemerkt, dass bei 26° C. das Leben, also die große Periode der schwärmenden Samenfäden, sich schneller abspielt, als bei 7° C. Mit dem Alter wird endlich die Bewegung langsamer und hiermit hängt es offenbar zusammen, dass oft nur träge sich Samenfäden bewegen, die sogleich beim Einbringen in Wasser aus Antheridien solcher Prothallien ent schlüpfen, welche ziemlich trocken gehalten waren und deren Antheridien hierdurch nach erlangter Reife gehindert wurden, sich zeitig zu öffnen.

2. Näheres über das Einschwärmen der gereizten Samenfäden in Capillaren.

In Folgendem soll nun näher die Reizwirkung der Äpfelsäure auf Samenfäden der Farne beleuchtet werden, auf welche mit diesem Stoffe gefüllte Glascapillaren in ähnlicher Weise als Anziehungspunkt wirken, wie geöffnete Archegonien. Zur Kenntnissnahme des Phänomens dieses Einschwärmens unter günstigen Bedingungen fassen wir Capillaren ins Auge, zu deren Füllung die wässrige Lösung eines neutralen Salzes der Äpfelsäure verwandt wurde, dessen Gehalt an dieser Säure 0.01 bis 0.5 Prozent beträgt. Wenn nichts anderes bemerkt, war die Äpfelsäure mit Natron neutralisirt, doch ist der Erfolg mit anderen Salzen derselbe und auch bei höherer Concentration spielen sich die Erscheinungen in wesentlich gleicher Weise ab, abgesehen von den durch zu hohe Concentration veranlassten besonderen Erscheinungen.

Wird eine so beschickte Capillare zu in Wasser schwärmenden Samenfäden geschoben, so macht sich die Reizwirkung auf die in der Nähe des Capillarmundes befindlichen Samenfäden [augenblicklich dadurch bemerklich, dass diese unter plötzlicher Ablenkung von der bisherigen Bewegungsrichtung nach der Öffnung der Capillare und dann in diese hinein steuern. Enthielt das Wasser viele schwärmende Samenfäden, so habe ich bei Anwendung einer 0.05 Prozent Äpfelsäure enthaltenden Flüssigkeit in Capillaren von 0.4 bis 0.44 mm Durchmesser innerhalb 1/2 Minute bis 60 Stück

¹⁾ Vgl. STRASBURGER, Jahrb. f. wiss. Bot. 1869—70. Bd. 7. p. 396.

von jenen gelangen sehen, und in 5 Minuten waren in manchen Fällen sicher 600 Stück in den Capillaren vereinigt. Das Einschwärmen dauert dann noch lange Zeit, bis zu 4 Stunde und mehr fort, und häufig bilden sich förmliche Pfropfen von Samenfäden in der Capillare, die bei reichlicher Ansammlung, sicherlich in Folge des relativen Sauerstoffmangels, bald nach Eintritt in die Capillare ihre Bewegung verlangsamten und dann schnell ihren Tod finden.

Ist eine mäßige Zahl Samenfäden vorhanden und sind diese auf eine nicht zu große Fläche vertheilt, so können diese mit der Zeit fast sämtlich in der Capillare versammelt sein. So beobachtete ich z. B. in 2 Versuchen, in welchen ein Deckglas von 64 qmm Fläche verwandt wurde, unter welchem sich 24 resp. 33 Samenfäden befanden, dass nach 12 Minuten in der zugeschobenen Capillare von 0.12, resp. 0.13 mm Weite, die mit 0.1 Proz. Äpfelsäure enthaltender Flüssigkeit gefüllt war, alle Spermatozoiden vereint waren bis auf 1 resp. 2 Stück, die in dem umgebenden Wasser zur Ruhe gekommen waren.

Geräth ein vorbeistauernder Samenfaden in den Wirkungsbereich der von der Capillare ausgehenden Diffusionszone der Äpfelsäure, so macht sich die Reizwirkung dieser durch sehr plötzliche Körperwendungen bemerkbar. Zuweilen biegt der Samenfaden scharf oder in einem Bogen ab, um der Capillarmündung zuzueilen, in anderen Fällen thut er dieses, nachdem er zunächst während 1 oder 2 Secunden wie erschreckt unbestimmt hin und her geschossen ist.

Auch bei dieser Reizwirkung der Äpfelsäure steht keinen Augenblick die Thätigkeit der Wimpern still, und wie bei Ablenkungen durch den Anstoß an feste Gegenstände erfährt bei solchen Wendungen der schraubenzieherartige Körper der Samenfäden keine Krümmungen, bewahrt vielmehr unverändert seine Gestalt. Ich constatirte dieses an Samenfäden, die in 8 bis 12 prozentiger Gummilösung sich befanden und der verlangsamten Bewegungen halber auch die durch die Reizwirkungen der Äpfelsäure verursachten Wendungen langsamer ausführten.

Der Samenfaden steuert dann von der verdünnteren zur concentrirteren Äpfelsäure, somit nach dem Punkte hin, von welchem aus Äpfelsäure sich diffundirend verbreitet. In unserem Falle ist das die Öffnung der Glascapillare, in anderen Versuchen wurde aus gleichem Grunde das Anziehungscentrum ein Äpfelsäure enthaltender Pflanzenschnitt oder ein Klümpchen wieder erstarrter Gelatine, die mit einer Lösung von äpfelsaurem Natron bereitet war.

Die so ihrem Anziehungspunkte zusteuern den Samenfäden halten im allgemeinen eine geradlinigere Bahn ein, als sie vor der richtenden Reizwirkung beschrieben, und dieses wird besonders auffällig, wenn durch Anwendung nicht zu verdünnter Äpfelsäurelösung ein intensiver Reiz ausgeübt wird. Dabei scheint aber die fortschreitende Bewegung, soweit das

Augenmaß ein Urtheil gestattet, nicht beschleunigt zu werden, doch gelangen natürlich die Samenfäden zu ihrem Ziele schneller, als es bei Einhaltung einer hin und her gebogenen Bahn der Fall gewesen wäre. Die Verhältnisse liegen hier also analog wie bei der phototaktischen Reizwirkung einseitiger Beleuchtung auf Schwärmsporen, deren Bewegung, während sie dem Lichte zusteuern, nach NÄGELI¹⁾ und STRASBURGER²⁾ nicht beschleunigt wird.

Der Samenfaden geht dann direkt in die Capillare oder schießt auch nicht selten an der Öffnung vorbei, um in einiger Entfernung, zumeist wohl da, wo er aus der Diffusionszone der Äpfelsäure in Wasser gelangen würde, zurückzukehren und nun in die Capillare einzudringen, oder um dieses Ziel erst nach wiederholtem Hin- und Herschießen zu erreichen. So entwickelt sich dann häufig ein lebhaftes Getümmel um die Capillare und hier und da enteilt auch einmal ein Samenfaden der Anziehungssphäre, um, einmal außerhalb derselben, nun in üblicher Weise seinen Weg fortzusetzen. Dieses Umschwärmen und Einschwärmen spielt sich nicht immer in gleicher Weise ab und ändert sich auch unter Umständen mit der Dauer des Versuches, indem sich ja allmählich die diffundirende Äpfelsäure weiter verbreitet.

Auch die in die Capillare gelangten Samenfäden verhalten sich nicht alle und nicht immer gleich. Gewöhnlich steuern die eingedrungenen Samenfäden mehr oder weniger weit in der Capillare hinauf, schwimmen dann aber oft gegen die Mündung zurück, um dicht vor oder an dieser plötzlich zurück zu prallen und wieder umzukehren. Doch schießen auch immer einzelne Samenfäden aus der Capillare, um in diese, nachdem sie sich in der Anziehungssphäre vor der Mündung in besagter Weise herumtummelten, zurückzukehren oder um gelegentlich auch der Anziehungssphäre zu enteilen.

In diesen Vorgängen, die ich nicht weiter auszumalen brauche, spielen auch Zufälligkeiten mit, die typischen Erscheinungen aber finden im Wesentlichen ihre Erklärung in der fortschreitenden Diffusion der Äpfelsäure und in dem Verhältniss zwischen Reizgröße und Intensität der Reaction. Es ist deshalb hier geboten, in dieser Hinsicht zum Verständniss einiges Thatsächliche vorzuschicken, für welches weiterhin die Begründung gegeben wird.

Zunächst sei hier nochmals betont, dass in homogener Äpfelsäurelösung die Samenfäden sich gleichmäßig, wie in reinem Wasser, vertheilen und sich der Einfluss jener selbst bei höherer Concentration der äpfelsauren Salze (mit einem Gehalt von 4 Proz. und mehr Äpfelsäure in der Lösung), nur in der durch die osmotische Wirkung verlangsamten Bewegung gel-

1) Beiträge zur wiss. Botanik. 1860. Heft 2. p. 102.

2) Wirkung d. Lichtes u. d. Wärme auf Schwärmsporen. 1878. p. 27.

tend macht. Erst durch einen Concentrationsunterschied wirkt also die Äpfelsäure als ein die Bewegungsrichtung bestimmender spezifischer Reiz, wie ja auch z. B. erst bei einseitiger Beleuchtung das Licht heliotropische und phototaktische Bewegungen veranlasst.

Wie bei jeder auslösenden Wirkung bedarf es auch bei der Äpfelsäure einer gewissen Größe des Reizes, um eine merkbliche Reaction zu erzielen, und diese Reizschwelle ist erreicht, wenn die zugeschobene Capillare mit einer Lösung gefüllt ist, welche 0.004 Proz. Äpfelsäure enthält.

Mit zunehmender Reizgröße wächst aber die durch die erzielte Richtungsbewegung angezeigte Empfindung langsamer als der Reiz, und zwar besteht hier ein analoges Verhältniss wie nach dem WEBER'schen Gesetze zwischen Reiz und Empfindung. Sind demgemäß Samenfäden, indem sie sich in einer Lösung äpfelsaurer Salze befinden, dem Reize dieses Agens ausgesetzt, so muss, um eben merkliches Einschwärmen in eine zugeschobene Capillare zu erzielen, der von dieser ausgehende Reiz, also die Concentration des Inhalts, stets in gleichem Verhältniss zur Concentration der den Samenfäden als Aufenthaltsort gebotenen Flüssigkeit stehen. In der That wurde, als letztere 0.0005 Proz. Äpfelsäure enthielt, eben merkliches Einschwärmen in eine Capillare mit 0.045 prozentiger Lösung beobachtet und ebenfalls die 30 fache Concentration in der Capillare, nämlich ein Gehalt von 0.3 Proz. Äpfelsäure in der Capillarflüssigkeit war nöthig, um wieder eine eben merkliche Reaction mit Samenfäden zu erhalten, die sich in einer 0.04 Proz. Äpfelsäure enthaltenden Lösung befanden. In letzterem Falle muss also der zur Reizung nöthige Concentrationsunterschied absolut viel größer sein, als in der verdünnteren Lösung.

Auf in Wasser befindliche Samenfäden wirkt also schon eine äußerst verdünnte Äpfelsäure als ein Richtungsreiz, während aber die Spermatozoen in die von dem Capillarmunde ausgehende Diffusionszone gelangen und in dieser fortschreiten, gelangen sie in immer concentrirtere Lösung und die die Bewegung nach dem Capillarraume bestimmende Reizwirkung nimmt ab, weil bei ungestörter Diffusion die Concentration in der Diffusionszone in gleichmäßiger Weise nach dem Ausgangspunkte, also hier nach der Capillaröffnung hin zunimmt.

Unter Beachtung dieser Thatsachen ist es begreiflich, warum öfters Samenfäden eine Schwärmsphäre um den Capillarmund bilden, ohne reichlich einzudringen, nämlich dann, wenn die Flüssigkeit in der Capillare die Concentration der unmittelbar vor dem Capillarmund befindlichen Lösung von Äpfelsäure nicht in genügendem Maße übertrifft, um einen Richtungsreiz auszuüben. Dabei prallen aber die Samenfäden zurück, wenn sie in der Diffusionszone nach außen fortschreitend in verdünntere Lösung gerathen. Schon der Störungen halber, welche in dem Diffusionsvorgang Wasserströme, die herumschießende Bewegung der Samenfäden u. s. w.

veranlassen, und die in verschiedenen Versuchen in ungleichem Maße eintreten, spielen sich Anziehung und Einschwärmen der Samenfäden nicht immer in derselben Weise ab. Übrigens zielen die Vorgänge, welche die Verbreitung der Äpfelsäure begünstigen, im allgemeinen dahin, eine relativ hohe Konzentrationsdifferenz am Capillarmund zu unterhalten und so das Einschwärmen zu befördern. Dem entsprechend wirkt auch Auswaschen und man kann leicht beobachten, wie nach langsamem Durchsaugen von Wasser mittelst Fließpapier die Samenfäden unter dem Deckglas, die zuvor eine ausgedehntere Schwärmsphäre bildeten, sich wieder enger um die Öffnung der Capillare drängen und präziser einschwärmen.

Innerhalb der Capillare übt der Inhalt keinen richtenden Einfluss auf die Samenfäden, weil, insbesondere zu Beginn des Versuches, die Concentration der Lösung ziemlich gleichmäßig ist. Das Zurückprallen am Capillarmund ergibt sich wieder aus dem hier liegenden Konzentrationsunterschied. Mit längerer Dauer des Experiments wird dann mit fortschreitender Diffusion aus naheliegenden Gründen wohl auch erreicht, dass in der Capillare selbst auf die Samenfäden ein Reiz ausgeübt wird, welcher sie nach dem Inneren der Capillare treibt. Dieser entschlüpfen aber immerhin wieder einzelne Samenfäden, insbesondere bei geringerem Gehalt von Äpfelsäure in der Capillarflüssigkeit. Indess würde bei genügender Reizwirkung die Ansammlung der Samenfäden doch eine sehr große werden, wenn diese auch nicht dadurch begünstigt würde, dass der relative Sauerstoffmangel in der Capillarflüssigkeit langsamere Bewegung und baldige Tödtung der Spermatozoen herbeiführte, und dies um so mehr, je lebhafter der Sauerstoffconsum in der Capillare durch zahlreiche Spermatozoen wird.

Mit der fortschreitenden Diffusion erweitert sich auch die als Reiz wirksame Sphäre, und zwar wird diese im allgemeinen endlich um so weiter reichen, je concentrirter die eingefüllte Lösung ist, weil dann ferner vom Capillarmund die zur Reizschwelle nöthige Concentration rückt. Wenigstens das schnellere Vorrücken dieser letzteren sprach sich darin aus, dass, bei gleicher Weite (0.43 mm) der Capillare nach 5 Minuten die Wirkungssphäre, d. h. die Zone, an deren Grenze vorbeistauernde Samenfäden gereizt wurden, etwa $4\frac{3}{4}$ mm weit reichte, als in die Capillare 0.4 prozentige Äpfelsäurelösung gefüllt war, während sie sich in gleicher Zeit auf 4—6 mm Radius, vom Capillarmund aus gerechnet, erstreckte, als eine 2 Proz. Äpfelsäure (beidemal als Natronsalz) enthaltende Lösung sich in der Capillare befand.

Bei Verwendung enger Glascapillaren von 0.03 bis 0.04 mm lichtem Durchmesser spielt sich das Phänomen des Einschwärmens in wesentlich gleicher Weise ab. Begreiflicher Weise gelangen hier, wo zudem das Anstoßen an den Rand der Öffnung öfters eine ablenkende Ursache wird, verhältnissmäßig weniger Samenfäden in gleicher Zeit in die Capillare, doch habe ich innerhalb 2 Minuten bis zu 30 Stück einschwärmen sehen, wenn

reichliche Samenfäden in dem umgebenden Wasser vorhanden waren. In diesem Falle ist das schnelle Schießen der Samenfäden insofern dem Einschwärmen nicht günstig, als öfters die an die Ränder der Capillaröffnung anprallenden Samenfäden seitlich abgelenkt werden. Demgemäß wirkt eine Verlangsamung der Bewegung begünstigend und ich fand in der That das Eindringen in die Capillare an Präcision gewinnen, als ich zur Füllung derselben einen zähflüssigen Traganthschleim verwandte, welcher 0.04 bis 0.4 Proz. Äpfelsäure enthielt. Der aus den Capillaren hervortretende Schleim bildete dann eine kleine Sphäre, welche bewirkte, dass die Samenfäden mit stark verlangsamter Bewegung an den Capillarmund gelangten. Übrigens wirkt Traganthschleim ohne Zusatz von Äpfelsäure durchaus nicht anziehend auf Samenfäden.

Sowohl aus engeren als aus weiteren Capillaren gelangen immer einzelne Samenfäden in die den Capillarmund umgebende Schwärm-sphäre und vereinzelte entteilen auch dieser. Mit dem Austritt aus der Capillaröffnung gewinnen die Samenfäden eine auffallende hin- und herschießende Bewegung, während die nur bis zur Öffnung gelangenden hier plötzlich zusammenschrecken und dann in die Capillare zurückwandern. Unter diesen Umständen musste die Frage aufgeworfen werden, ob vielleicht neben der durch die Concentrationsdifferenz bedingten richtenden Wirkung speziell der Übergang von der dichteren zur verdünnteren Lösung einen besonderen Reiz ausübe. Ohne Analogie wäre es ja nicht, dass der Abfall anders als die Steigerung influirt, denn in den auf Temperaturschwankungen reagirenden Blüthen wirkt der Temperaturabfall anders als die Temperatursteigerung¹⁾, und *Bacterium photometricum* schreckt nach ENGELMANN²⁾ bei plötzlicher Abnahme, nicht aber bei Zunahme der Helligkeit zusammen, so dass dieserhalb eine erleuchtete Zone wie eine Falle wirkt, weil dieses *Bacterium* ungehindert aus dem Dunklen ins Licht schwimmt, aber zurückschreckt, wenn es aus dem Licht nach dem Dunkeln steuert.

Eine solche besondere Reizwirkung der Concentrationsabnahme besteht indess bei den Samenfäden der Farne nicht. Bei Annäherung der in der Capillare befindlichen Spermatozoiden an die Öffnung gelangen dieselben in eine Zone stark fallender Concentration der Äpfelsäure, und der hierdurch bedingte kräftige Reiz bedingt die plötzliche Wendung, wie ja auch Samenfäden plötzlich zusammenfahren, wenn sie in Wasser schwimmend in die Wirkungssphäre von Äpfelsäure gerathen. Gelangen aber Samenfäden aus der Capillare in die Diffusionszone vor dieser, so schießen sie, abgesehen von den besonderen solchen begünstigenden Wirkungen in der Diffusionszone, schon deshalb lebhafter umher, weil ihnen innerhalb der Capillare der beschränkte Raum weitergehende Excursionen verwehrt. In der That

1) PFEFFER, Die period. Bewegungen der Blattorgane. 1875. p. 130.

2) PFLÜGER'S Archiv f. Physiologie. 1882. Bd. 30. p. 110.

bemerkte ich lebhafteres Herumschießen beim Austritt aus der Capillare auch dann, als ich eine solche, in der Flüssigkeit mit 0.04 Proz. Äpfelsäure sich befand, nachdem eine Anzahl Samenfäden hineingelockt war, in eine Flüssigkeit brachte, welche 0.5 Proz. Äpfelsäure enthielt, welche nun die Samenfäden veranlasste, aus der verdünnten Lösung in der Capillare in das diese umgebende Medium überzutreten.

3. Die Reizschwelle.

In allen Vorgängen wird eine Reaktion erst bei einer gewissen endlichen Größe des veranlassenden Reizes bemerklich und es ist schon vorher beiläufig bemerkt, dass in unseren Versuchen mit Samenfäden der Schwellenwerth der Reizwirkung der Äpfelsäure erreicht ist, wenn die zugeschobene Capillare eine Lösung mit 0.004 Proz. Äpfelsäure enthält.

Bei solchen schwachen Reizen ist freilich die anziehende Wirkung noch gering, doch unzweifelhaft. Gleich nach Zuschieben der Glascapillare werden einzelne in der Nähe der Öffnung vorbeistuernde Samenfäden abgelenkt, wenn auch weniger plötzlich, als bei Anwendung concentrirterer Lösung, und steuern nach der Capillare hin, in welche gewöhnlich nur ein kleinerer Theil eindringt, während die anderen vor der Öffnung herumschießen. Indess sind diese herumschießenden Samenfäden bei der schwachen Reizwirkung nicht sehr fest gebannt und viele entteilen der Anziehungssphäre, so dass es zu einem dichten Getümmel, wie bei höherer Concentration, nicht kommt. Auch von den ohnehin spärlicher in die Capillare eindringenden Samenfäden kehren nicht wenige aus jener zurück und selten befinden sich nach 10 Minuten mehr als 10—25 Stück auch dann in der Capillare, wenn die umgebende Flüssigkeit zahlreiche Samenfäden enthält und sich in gleicher Zeit in einer mit 0.04 Proz. gefüllten Capillare vielleicht 400 derselben angesammelt hätten. Immerhin aber war bei richtiger Anstellung des Versuches die Anziehung ganz unzweifelhaft im Vergleich mit Glascapillaren, deren Inhalt Wasser oder eine verdünnte Lösung eines anderen Stoffes war, denn solche Capillaren üben durchaus keine anziehende Wirkung aus und gewöhnlich gelangt nicht ein einziger Samenfaden in die Capillare.

Bei Anwendung noch verdünnterer Lösungen mit 0.0008 Proz. und 0.0005 Proz. Äpfelsäure war gewöhnlich keine, zuweilen indess eine schwache und ganz unbestimmte Anziehung zu bemerken, bei der es ausnahmsweise zum Eindringen einzelner Samenfäden in die Capillare kam.

Wenn ich somit 0.004 Proz. Äpfelsäure als Reizschwelle der Äpfelsäure anspreche, so kann dieser untere Grenzwert, welcher überhaupt nur für unsere Versuchsbedingungen gilt, der Natur der Sache nach nur als eine Annäherung betrachtet werden hinsichtlich der Reizgröße, welche eben merkliche Anziehung und gewisses Eindringen der Samenfäden in die

Capillare bewirkt. Wird solches durch geringere Concentration nicht erreicht, so wirkt diese doch immerhin noch als ein, wenn auch unzulänglicher Reiz, wie einmal die oben angeführten empirischen Erfahrungen und die Thatsache lehrt, dass eine kleine Menge Äpfelsäure in der umgebenden Flüssigkeit zu einer starken Steigerung der Concentration der Äpfelsäure in der Capillare nöthigt, um merkliche Reizwirkung zu erzielen (vgl. p. 376). Ferner muss ja zu einer zu verdünnten Äpfelsäure nur eine zur Erreichung der Reizschwelle nöthige, also für sich allein gleichfalls unwirksame Menge dieses Stoffes hinzugefügt werden, um merkliche Reizwirkung zu erzielen. Analog verhält es sich ja auch mit den zu schwachen, noch nicht zu unserem Bewusstsein kommenden Reizen, z. B. mit einem zu geringen Gewichte, dessen Druck erst nach Steigerung bis zum Schwellenwerthe des Reizes in uns Empfindung hervorruft, während die kleineren Gewichte, als unmerkliche Reizursachen, den von FECHNER als unbewusst bezeichneten Empfindungen entsprechen.

In den auf Feststellung der Reizschwelle abzielenden Versuchen müssen die Prothallien sehr gut abgewaschen werden, um jede Spur von Äpfelsäure zu entfernen, die unter allen Umständen einen Einfluss auf die Reizwirkung der Capillarflüssigkeit haben, d. h. die Reizschwelle höher rücken würde. Weiter muss sogleich nach dem Zuschieben der äußerlich gut abgewaschenen Capillare beobachtet werden, da mit der Erweiterung der Diffusionszone die Abnahme der Concentration in dieser eine allmählichere und damit die Reizbedingung ungünstiger wird, ebenso wie durch Vorhandensein von Äpfelsäure in der umgebenden Flüssigkeit. In der That lässt bei Verwendung einer Capillare mit einem 0.004 Proz. Äpfelsäure enthaltenden Inhalt die anziehende Wirkung bald merklich nach und ist manchmal schon nach 5—40 Minuten nicht mehr deutlich.

Dass die Resultate nicht immer gleich ausfallen, ist nicht anders zu erwarten, da Wasserströme und andere Eingriffe verschieden influiren. Doch bin ich in keinem sorgfältig angestellten Versuche über die Reizwirkung von 0.004 Proz. Äpfelsäure zweifelhaft gewesen und zwar erhielt ich ein gleiches Resultat auch dann, als ich statt der üblichen Capillaren von 0.4 bis 0.44 mm Weite solche von 0.05 mm Weite verwandte. Übrigens ist nach dem Gesagten einleuchtend, dass, fände keine Diffusion statt, Äpfelsäure von noch geringerer Concentration als Reiz auf die aus reinem Wasser an sie gelangenden Samenfäden wirken müsste, denn faktisch ist ja in der reizend wirkenden Diffusionszone die Äpfelsäure wesentlich verdünnter, als die zur Füllung der Capillare angewandte Lösung. Da es indess kaum möglich ist, die Grenze der noch wirksamen Concentration auf Grund der eben angedeuteten Erwägung zu ermitteln, so soll die Reizschwelle nach der in die Capillare eingefüllten Flüssigkeit bezeichnet werden, um hiermit ein vergleichbares Maß für die Schwelle und für die Unterscheidung von Reizzuwachsen zu erhalten.

Die obigen Versuche wurden zumeist mit neutralem äpfelsauren Natron ausgeführt, doch gelten die gewonnenen Erfahrungen ebenso für freie Äpfelsäure und andere äpfelsaure Salze, da die Äpfelsäure in freiem und gebundenem Zustand in gleicher und gleich intensiver Weise als Reizmittel auf die Samenfäden wirksam ist. Es wurde nämlich dieses durch vergleichende Versuche mit der freien Äpfelsäure gegenüber neutralem und alkalischem Natronsalz, sowie gegenüber dem neutralen Ammoniak-, Baryt- und Kalksalz der Säure constatirt, die übereinstimmend für einen Gehalt von 0.004 Proz. Äpfelsäure in der Capillarflüssigkeit eine gleich starke Reizwirkung ergaben. Bei solcher Verdünnung macht sich noch nicht die abstoßende Reizwirkung saurer oder alkalischer Flüssigkeit geltend, welche es mit sich bringt, dass, wie noch mitgetheilt wird, bei höherer Concentration neutrale Salze eine stärker anziehende Wirkung auf die Samenfäden üben. Auch bei einem Zusatz von 0.3 Proz. Rohrzucker oder Salpeter, sowie von 4 Proz. arabischem Gummi zur Capillarflüssigkeit wurde für die Reizwirkung der Äpfelsäure derselbe Schwellenwerth gefunden.

Die Empfindlichkeit der Samenfäden bietet individuelle Unterschiede. Am empfindlichsten scheinen im allgemeinen die lebhaft bewegten Samenfäden zu sein und diese habe ich, soweit sich das beurtheilen lässt, sämtlich durch Äpfelsäurelösung von 0.004 Proz. reizbar gefunden. Langsam sich bewegendes Samenfäden steuerten aber gleichzeitig häufig indifferent vorbei und waren zum Theil selbst gegen 0.005 Proz. Äpfelsäure unempfindlich, welche die anderen Samenfäden schon in größerer Zahl in die Capillare lockte. Es waren diese langsamer bewegten Samenfäden zum Theil solche, welche ihrem Lebensende entgegen gingen und also hiermit an Sensibilität verloren, zum Theil abnorm gestaltete mit z. B. nur 4 bis $4\frac{1}{2}$ Schraubenwindung, welche sich gelegentlich vorfinden.

Alle diese Angaben basiren auf Versuchen, die bei einer Temperatur zwischen 14 bis 20°C . angestellt wurden, und ich muss dahin gestellt lassen, ob die Empfindlichkeit in hoher oder tiefer Temperatur sich ändert. Constatirt habe ich nur, dass bei 0 bis $\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$. die sich jetzt recht langsam bewegendes Samenfäden reichlich in eine Capillare spazierten, welche eine 0.05 Proz. Äpfelsäure enthaltende Flüssigkeit enthielt, und dass bei 28°C . die Reizschwelle unverändert bei 0.004 Proz. Äpfelsäure lag. Nach den allgemeinen Erfahrungen über andere Reizbewegungen muss es übrigens sehr wahrscheinlich dünken, dass mit Annäherung an die Temperatur-extreme die Empfindlichkeit der Samenfäden abnimmt.

Ein Einfluss der Beleuchtung auf die Empfindlichkeit der Samenfäden wurde in einigen in dieser Richtung angestellten Versuchen nicht bemerkt.

Als Untersuchungsobjekte dienten, wie früher bemerkt, *Adiantum cuneatum* und *Blechnum fraxineum*, doch erwiesen sich die Samenfäden aller darauf untersuchten Farne gleicherweise im hohen Grade empfindlich gegen Äpfelsäure, so die von *Pteris serrulata*, *Coenopteris spec.*, *Cerato-*

pteris thalictroides, *Aneimia fraxinifolia*, deren Prothallien auf Torf erzogen worden waren. Die Reizschwelle wurde für *Pteris serrulata* und *Coenopteris spec.* in gleicher Weise wie für die erstgenannten Farne, bei 0.004 Proz. Äpfelsäure gefunden, während sie bei einer Cultur von *Ceratopteris thalictroides* erst mit 0.005 Proz. Äpfelsäure erreicht war. Hiernach bestehen also, wie ja auch nicht anders zu erwarten, spezifische Differenzen hinsichtlich der Empfindlichkeit. Wahrscheinlich muss es aber nach Obigem dünken, dass für alle Samenfäden der Farne in derselben Weise Äpfelsäure ein spezifisches Reizmittel ist, immerhin aber wird erst die empirische Erfahrung zu entscheiden haben, ob diese Vermuthung z. B. für die *Ophioglosseae* und *Marattieae* gilt.

Gegen alle anderen untersuchten und später zu nennenden Körper, darunter auch gegen solche, die der Äpfelsäure chemisch verwandt sind, verhielten sich die Samenfäden der Farne indifferent, mit Ausnahme von Maleinsäure, die neben Fumarsäure bei der trocknen Destillation von Äpfelsäure entsteht. Gegen Maleinsäure verhalten sich die Samenfäden analog wie gegen Äpfelsäure, nur wird die Reizschwelle erst bei höherer Concentration erreicht. Eben merkliches Einschwärmen fand ich, als die Capillarflüssigkeit 0.03 bis 0.04 Proz. Maleinsäure, als Natronsalz, enthielt. Bei einem Gehalt von 0.4 Proz. Maleinsäure in der Flüssigkeit war dann das Einschwärmen der Samenfäden in die Capillare erheblicher, aber immerhin nicht sehr ansehnlich. Bemerken will ich noch, dass es sich hierbei nicht etwa um eine Verunreinigung mit Äpfelsäure handeln kann, da die aus der chemischen Fabrik von SCHUCHHARDT bezogene Maleinsäure auch dann noch als Reizmittel wirkte, als ich sie einer nochmaligen Destillation unterworfen hatte.

Die zur Reizung der Samenfäden nöthige Menge Äpfelsäure muss jedenfalls erstaunlich gering sein, da von der an sich so verdünnten Capillarflüssigkeit eine nur ganz geringe Menge Äpfelsäure genügt, um die locomotorische Richtungsbewegung der Spermatozoiden zu bestimmen. Dieses trat u. a. auch in einem Versuche ein, in welchem in einer Capillare von 0.06 mm lichtem Durchmesser die 0.004 prozentige Äpfelsäurelösung eine 4 mm lange Flüssigkeitssäule bildete. Also befanden sich 0.00284 cmm oder mg Flüssigkeit in der Capillare, in welcher 0.000000284 mg, also ungefähr der 36 millionste Theil eines Milligramm Äpfelsäure gelöst waren. Von dieser Menge kam aber sicher nur ein kleiner Bruchtheil, voraussichtlich weniger als der tausendste Theil, in Contact mit dem Samenfaden und bewirkte dessen Reizung.

Um einen richtigen relativen Maßstab hinsichtlich dieser geringen Stoffmenge zu gewinnen, müssen wir naturgemäß dieselbe mit der Größe eines Samenfadens vergleichen und im Vergleich zu diesem erscheinen die zur Auslösung nöthigen Mengen von Äpfelsäure so winzig nicht. Ein Kegel, der wie ein Samenfaden 0.045 mm lang und 0.008 mm breit ist (vgl. p. 369),

hat ein Volumen von 0,00 000 025 also $\frac{1}{4}$ millionstel cmm, das der den ganzen Kegel nicht ausfüllende Samenfaden sicher nicht erreicht. Selbst wenn wir dieses Volumen oder an dessen Stelle ein Gewicht von $\frac{1}{4}$ millionstel mg annehmen, ist der Samenfaden nur 9 mal schwerer als die Gesamtmenge der in obigem Versuche in der Capillare enthaltenen Äpfelsäure. Wenn nun von dieser auch z. B. nur $\frac{1}{10\,000}$ zur Reizung des Samenfadens genügen sollte, so ist das doch im Verhältniss zum Gewicht dieses immer noch eine relativ weit größere Menge, als es 0,03 g Morphinum im Verhältniss zum Körpergewicht eines Menschen sind, auf dessen Organismus solche Dosis schon energisch wirkt.

Mit solchem relativen Maße gemessen, erscheinen auch die in anderen Fällen als Reize wirksamen absolut geringen Stoffmengen oder mechanische Wirkungen nicht so geringfügig. Von bekannten Fällen nenne ich hier die Drüsenhaare von *Drosera rotundifolia*, die mit einer Krümmungsbewegung antworten, wenn das ja auch nicht große Köpfchen des Haares weniger als 0,00 000 328 g, d. h. als $\frac{1}{3}$ millionstel mg Ammonphosphat absorbiert, gegen welches Salz diese Haare am empfindlichsten sind¹⁾. Unter den nach sauerstoffreicherer Flüssigkeit sich hinbewegenden Bakterien werden die empfindlichsten nach ENGELMANN²⁾ noch durch eine Sauerstoffmenge gereizt, welche etwa den trillionsten Theil eines Milligramms beträgt und somit den Grenzen sich nähert, welche die theoretische Physik für das Gewicht eines Sauerstoffmoleküls berechnet. Aber diese Organismen sind auch so winzig, dass ihrer Körpergröße gegenüber dieses kleine Sauerstoffquantum nicht verschwindend gering ist.

Solche relative Vergleichen zeigen auch für andere Fälle, dass die auslösende Aktion gegenüber dem gereizten Organismus nicht so verschwindend gering ist. Ich erinnere hier nur an die überaus empfindlichen zarten Ranken von *Passiflora gracilis*, die schon durch ein angehängtes Platin-drähtchen von 1.23 mg Gewicht zur Reizkrümmung veranlasst werden³⁾.

Es liegt übrigens im Wesen der auslösenden Wirkungen, die wir, sofern sie den Organismus treffen, Reize nennen, dass beliebige Disproportionalität zwischen jenen und den durch sie ausgelösten Aktionen bestehen kann⁴⁾. So kann durch den kleinsten Funken eine beliebig große Pulvermenge zur Explosion gebracht werden, deren Kraftentwicklung gegenüber die mechanische Arbeit jenes auslösenden Funkens in der That verschwindend gering erscheint. Solche Relationen, in welchen die auslösende Aktion zu einer relativ verschwindenden Größe herabsinkt, sind natürlich auch hinsichtlich der Reizwirkungen im Organismus denkbar, die leider zum größten Theil zur Zeit noch keinen sicheren Vergleich zwischen der

1) DARWIN, Insektenfressende Pflanzen 1876. p. 246.

2) Bot. Zeitung 1883. p. 4.

3) CH. DARWIN, Bewegung u. Lebensweise d. kletternden Pflanzen 1876. p. 131.

4) Vgl. PFEFFER, Pflanzenphysiologie 1881. Bd. 1. p. 4.

mechanischen Intensität des Reizes und der ausgelösten Thätigkeit gestatten. Ich erinnere nur daran, dass wir nicht sicher sagen können, welchem mechanischen Äquivalente die auslösende Wirkung des Lichtes beim Heliotropismus, der Schwerkraft beim Geotropismus, der Feuchtigkeitsdifferenz beim Hydrotropismus, den vorgenannten chemischen Reizen bei Erzielung der bezüglichen Auslösungen entspricht, und so kann uns ein Vergleich mit der einigermaßen mit mechanischem Maße meßbaren ausgelösten Aktion nur soviel sagen, dass letztere jedenfalls oft ein sehr großes Multiplum der zur Erzielung des Reizes aufgewandten Arbeit ist. Dies lehrt auch z. B. ein Vergleich zwischen dem zur Reizung von *Mimosa pudica*, resp. Ranken nöthigen Stoß, resp. Reibung¹⁾ und den bezüglichen ausgelösten mechanischen Aktionen²⁾, ferner auch die Umsetzungen durch Diastase und andere Fermente, deren Wirkungen außerhalb des Organismus wohl als minimales Maß ihrer Aktionsfähigkeit im Organismus genommen werden dürfen. Immerhin lässt sich aus solchen und anderen hier nicht zu nennenden Beispielen ersehen, dass in ihnen das mechanische Äquivalent des Reizes zwar oft eine sehr kleine, doch keine geradezu verschwindende Größe gegenüber der Arbeitskraft der ausgelösten Aktion ist. Hinsichtlich der Samenfäden sei noch darauf aufmerksam gemacht, dass der durch Äpfelsäure bewirkte Reiz, analog wie einseitige Beleuchtung in den phototaktischen Bewegungen der Schwärmsporen, nur die zur entsprechenden Achsenrichtung nöthige Drehung des Körpers veranlasst, dessen Fortbewegung zum Ziele indeß ohne Beschleunigung der Bewegung geschieht.

4. Einfluss hoher Concentration und mechanischer Hemmungen.

Nach Besprechung der Reizschwelle sollen nun in Folgendem die Wirkungen behandelt werden, welche Steigerung der Concentration der Äpfelsäure und Beimengung anderer Stoffe zu derselben hervorrufen.

Bei gesteigerter Concentration wirken an sich indifferente Stoffe abstoßend auf die Samenfäden der Farne, welche, wenn sie in solche Lösungen höherer osmotischer Wirkung gelockt werden, darin schnell ihren Tod finden. Solches Empfindungsvermögen tritt z. B. hervor, wenn

1) Es sei hier beiläufig bemerkt, dass wie Wasser (vgl. PFEFFER, *Physiol.* Bd. 2. p. 245), so auch Quecksilber und Stäbe aus 6 bis 10 procentiger erstarrter Gelatine nicht als Reiz auf empfindliche Ranken wirken, auch wenn damit gegen diese ein erheblicher Druck ausgeübt wird. Es ist also nicht der Druck als solcher, sondern der Contact und die Reibung mit einem festen Körper die äußere Reizursache. Weiteres über dieses Thema und das Verhalten anderer reizbarer Objekte werde ich in einer speziellen Arbeit mittheilen.

2) Über die Größe ausgelöster mechan. Aktionen vgl. PFEFFER, *Period. Bewegungen d. Blattorgane* 1875. p. 144, 145; *Physiologie* Bd. 2. p. 238, 269.

man zur Füllung der Glascapillare eine Flüssigkeit verwendet, welche neben 0.04 Proz. Äpfelsäure (als Natronsalz) 40 Proz. Salpeter gelöst enthält. Von der diffundirenden Äpfelsäure angezogen, steuern jetzt Samenfäden zahlreich gegen den Capillarmund, biegen aber an diesem oder etwas vor demselben mehr oder weniger plötzlich, z. Th. wie erschreckt ab. Nach 5 Minuten waren z. B. in die Capillare nur 4 Samenfäden gelangt, welche sogleich mit dem Eintritt ihre Bewegung sehr verlangsamten und schnell zu Grunde gingen. Dabei war in diesem Versuche die Zahl der Samenfäden ebenso zahlreich wie in einem gleichzeitig angestellten Experimente, in welchem eine Capillare mit 0.04 Proz. Äpfelsäuregehalt (ohne Salpeter) zugeschoben wurde und in 5 Minuten wohl 80 Samenfäden in die Capillare eindringen. Zudem lehrte ja auch das Ausweichen der von der Äpfelsäure angelockten Samenfäden in dem erstgenannten Versuche die abstoßende Wirkung des Salpeters.

Nach 40 Minuten und weiterhin drangen in die 40 Proz. Salpeter und 0.04 Proz. Äpfelsäure enthaltende Capillare Samenfäden etwas reichlicher ein, offenbar weil inzwischen im unteren Theil der Capillare die Concentration in Folge der Diffusion gesunken war. In einzelnen Versuchen bildete sich jetzt im untersten Theil der Capillare, bis etwa $\frac{1}{2}$ mm von der Mündung entfernt, eine Ansammlung schwärmender Samenfäden, die beim Versuch, weiter einzudringen, mit Herannahen an die concentrirtere Lösung zumeist zurückprallten, während anderen solches Eindringen gelang, das ihnen schnell den Tod brachte. In anderen Versuchen war solche Ansammlung im untersten Stücke der Capillare nicht zu bemerken, vielmehr spielte sich auch weiterhin das Verhalten der Samenfäden ähnlich wie zu Anfang des Versuches ab, nur drangen allmählich mehr und mehr Samenfäden in die Capillare ein. Auf Abweichungen dieser und anderer Art soll indess nicht weiter eingegangen werden, da diese Folgen des nicht immer gleichen Verlaufs der Diffusion und der Verbreitung des Inhalts der Capillare kein besonderes Interesse in diesem Falle beanspruchen.

Mit abnehmender Concentration der Salpeterlösung verringert sich die abstoßende Wirkung und in der That schwärmten die Samenfäden zahlreich in die Capillare, als diese 5prozentige Salpeterlösung mit gleichem Gehalt an Äpfelsäure wie vorhin, also mit 0.04 Proz. enthielt. Immerhin war das Einschwärmen weniger präcis, als es beim Weglassen des Salpeters gewesen sein würde, und an manchen Samenfäden machte sich eine abstoßende Wirkung noch bemerklich. Diese war nicht mehr wahrzunehmen, als die Capillare mit 4prozentiger Salpeterlösung, die 0.04 Proz. Äpfelsäure enthielt, gefüllt war. Die eindringenden Samenfäden gingen auch in dieser Lösung schnell zu Grunde, weniger schnell freilich als in der 5prozentigen Lösung, in welcher sie schon unweit vom Capillarmund ihren Tod fanden.

Es handelt sich also hier um einen Antagonismus zwischen anziehender und abstoßender Wirkung und letztere kommt natürlich schon bei geringe-

rer Concentration zu stande, wenn mit Verminderung des Äpfelsäuregehaltes die anlockende Wirkung abgeschwächt wird. Neben 0.003 Proz. Äpfelsäure genügte schon 4 Proz. Salpeter, um ansehnliche Abstoßung zu erzielen, und nur sehr vereinzelt Samenfäden gelangten von den zahlreichen gegen die Capillare steuernden in diese. Dagegen drangen die Samenfäden noch reichlich in eine Lösung von 45.5 Proz. Salpeter, als neben diesem die Capillarflüssigkeit 0.5 Proz. Äpfelsäure enthielt, obgleich sofort mit dem Eintritt in die Capillare der Tod der Spermatozoiden erfolgte.

Die abstoßende Wirkung ist nicht etwa eine spezifische Wirkung des Salpeters, sondern entspringt allgemein der Empfindlichkeit der Samenfäden gegen concentrirte Lösungen, die voraussichtlich, *ceteris paribus*, nach Maßgabe ihrer osmotischen Leistung wirksam sind. Wenigstens fand ich, dass bei Verwendung des osmotisch weniger wirksamen arabischen Gummis¹⁾ noch in 42proz. Lösung dieses Stoffes, die daneben noch 0.04 Proz. Äpfelsäure enthielt, Samenfäden reichlich eindringen, obgleich ihnen der dickflüssige Inhalt der Capillare erheblichen Widerstand entgegensetzte und ihre Bewegungen stark verlangsamte. Auch steuerten unter der anziehenden Reizwirkung von 0.04 Proz. Äpfelsäure Samenfäden reichlich in eine Capillare mit 42proz. Lösung von Rohrzucker, während diese erheblich abstoßend wirkte, als sie nur 0.003 Proz. Äpfelsäure enthielt.

Bei zunehmender Concentration eines äpfelsauren Salzes treten natürlich auch die steigende anlockende Reizwirkung der Äpfelsäure und die wachsende Abstoßung in Conflict und jedenfalls wird hierdurch bei ansehnlicher Concentration das Verhältniss zwischen Reizgröße und Anziehungswirkung beeinflusst. Die äpfelsauren Salze scheinen aber in allzugroßer Menge noch eine spezifische abstoßende Wirkung auf die Samenfäden zu haben. Denn in einer völlig neutralen Lösung des Natronsalzes mit 40 Proz. Äpfelsäure drangen zwar Samenfäden ein, die meisten aber wurden zunächst abgestoßen und zwar augenscheinlich stärker als selbst durch eine Lösung, die neben 45.5 Proz. Salpeter nur 0.5 Proz. Äpfelsäure enthielt, bei der die anziehende Wirkung also geringer sein müsste als bei der erstgenannten Lösung, wenn diese Reizwirkung auch nur langsam mit der zunehmenden Concentration wächst. Dabei ist die osmotische Leistung dieser 45.5 proz. Salpeterlösung ansehnlicher, als die des 40 Proz. Äpfelsäure enthaltenden Natronsalzes, wie sich daraus ergab, dass jene eine weitergehende Contraction des Protoplasmakörpers in den Zellen einer *Conferva* erzielte. Übrigens machte auch eine 5 Proz. Äpfelsäure enthaltende Lösung des neutralen Natronsalzes eine schon recht merkliche abstoßende Wirkung geltend.

Eine solche Umkehrung der Wirkung mit zunehmender Reizgröße hat übrigens keineswegs etwas befremdendes, vielmehr sind analoge Fälle mehr-

1) Vgl. PFEFFER, Osmotische Untersuchungen 1877. p. 75.

fach bekannt. Um bei locomotorischen Organismen zu bleiben, erwähne ich, dass die Schwärmsporen mit steigender Beleuchtung den Lichtrand fliehen, welchen sie zuvor aufsuchten,¹⁾ und dass Spirillum sowie Paramecium und andere Infusorien zu dem sauerstoffreicheren Wasser sich nur so lange bewegen, als der Partiärdruck des Sauerstoffs eine gewisse Größe nicht überschreitet, die sie dann fliehen macht²⁾.

Die Samenfäden fliehen ferner eine stärker saure Lösung und so treten, bei Verwendung freier Äpfelsäure, mit zunehmender Concentration dieser anziehende und abstoßende Wirkung in Conflict. Bei einem Gehalt von 0.04 Proz. Äpfelsäure ist der Erfolg mit freier und der an Natron gebundenen Säure noch übereinstimmend, steigt aber der Säuregehalt auf 0.4 Proz., so schwärmen die Samenfäden sehr energisch in die Capillare des Natronsalzes, während sie zwar auch sogleich der freien Säure zusteuern, am Capillarmund aber ähnlich und zumeist wohl noch auffälliger zurückprallen, als in dem vorhin beschriebenen Versuche, in welchem die Capillarflüssigkeit 10 Proz. Salpeter und 0.04 Proz. Äpfelsäure enthielt. Einzelne in die Capillare eindringende Spermatozoen sind sofort todt, doch ist nach einiger Zeit im Eingang der Capillare eine genügend verdünnte Flüssigkeit entstanden, um in dieser ein Getümmel von Samenfäden zu gestatten.

Da in verdünnten Lösungen freie Äpfelsäure und ihre Salze gleich starke Reizmittel sind, so muss die dem Organismus schädliche saure Beschaffenheit die Samenfäden zum Fliehen reizen. In der That werden auch die heranschwimmenden Samenfäden kräftig abgestoßen, wenn die Capillarflüssigkeit 0.04 Proz. freie Äpfelsäure und 0.2 Proz. Citronensäure enthält, die weder für sich, noch in ihren Salzen als Reiz auf die locomotorischen Bewegungen der Samenfäden influirt. Ob in der oben angewandten Concentration die Äpfelsäure, außer durch ihre saure Reaktion, noch in spezifischer Weise die Samenfäden zum Zurückweichen reizt, lasse ich unentschieden.

Auch alkalische Reaktion wirkt abstoßend auf Samenfäden, wie Versuche ergaben, in denen ich Lösungen verwandte, welche enthielten 1) 0.04 Proz. Äpfelsäure und 0.5 Proz. Natriumcarbonat; 2) 0.04 Proz. Äpfelsäure und 0.4 Proz. Natriumcarbonat. Diese Lösungen wurden gekocht, nach dem Erkalten mit Luft geschüttelt, und reagierten beide, die erste stärker, die zweite schwach alkalisch. Unter der anlockenden Reizwirkung der Äpfelsäure eilten zahlreiche Samenfäden nach der Öffnung der zugeschobenen Capillare, prallten aber vor dieser zurück, ähnlich wie bei den vorgenannten Versuchen mit freier Säure. Dieses geschah am auffälligsten an der stärker alkalisch reagirenden Lösung, in die zunächst nur 1 Samenfaden eindrang und baldigst seinen Tod fand. In die Lösung mit 0.4 Proz.

1) STRASBURGER, Wirkung d. Lichtes u. d. Wärme auf Schwärmsporen 1878. p. 22.

2) ENGELMANN, PFLÜGER'S Archiv für Physiologie 1884. Bd. 26. p. 544 u. 1882. Bd. 29. p. 394.

Natriumcarbonat wanderten zwar schon einige Samenfäden, doch wirkte auch sie noch deutlich abstoßend.

Die Samenfäden werden durch die ihr Entfliehen veranlassende Reizwirkung von Säuren und Alkalien vor der schädlichen Wirkung dieser Stoffe geschützt, doch weichen die Spermatozoiden keineswegs allen schädlichen Stoffen aus. In einer Capillarflüssigkeit, die neben 0.04 Proz. Äpfelsäure 0.8 Proz. salpetersaures Strychnin enthielt, steuerten die Samenfäden durchaus präcis ein, obgleich sie in dieser giftigen Flüssigkeit in 4 bis einigen Secunden, also in der Nähe der Capillaröffnung ihre fortschreitende Bewegung einstellten, noch relativ lange ihre Wimpern bewegten und dann zu Grunde gingen. Ebenso schwärmten die Samenfäden massenhaft in eine Capillare, in welcher eine Flüssigkeit mit 0.04 Proz. Äpfelsäure und 0.04 Proz. Quecksilberchlorid sich befand, in der sie sofort ihren Tod fanden, auch die Wimperbewegung sofort einstellten. Ob diese Flüssigkeit vielleicht eine ganz geringe abstoßende Wirkung ausübt, wie es mir fast schien, habe ich nicht näher zu entscheiden versucht. Immerhin muss nach obigen Erfahrungen als möglich erscheinen, dass nähere Prüfung noch andere Stoffe kennen lehrt, welche eine spezifische abstoßende Reizwirkung auf die Samenfäden der Farne ausüben.

Nach den nun mitgetheilten Erfahrungen zeigen uns also die Samenfäden durch die Ablenkung ihrer Bewegungsrichtung an, dass sie, außer der spezifischen Reizbarkeit durch Äpfelsäure und durch die analog wirkende Maleinsäure, gegen saure und alkalische Beschaffenheit, sowie gegen hohe Concentration (osmotische Wirkung) einer Lösung empfindlich sind und Contact mit festen Körpern auf sie als Reiz wirkt.

Die abstoßende Wirkung saurer, alkalischer und concentrirter Lösung schützt die Samenfäden gegen die tödtliche Wirkung dieser mit großer Sicherheit, so lange nicht gleichzeitig die anziehende Reizwirkung von Äpfelsäure sie in ihr Verderben treibt, und selbst dann noch wird ihnen jene abstoßende Wirkung wenigstens zu einem gewissen Schutze. In eine Capillare, die Flüssigkeit mit 0.2 Proz. freier Citronensäure oder 0,2 Proz. Natriumcarbonat ohne sonstigen Zusatz enthielt, sah ich trotz zahlreicher Samenfäden in der umgebenden Flüssigkeit keinen einzigen dieser eindringen, vielmehr bogen sie in der Nähe der Capillaröffnung derartig aus, dass im Laufe von 8 Minuten kein Spermatozoid durch Säure oder Alkali Schaden nahm.

Äpfelsäure und äpfelsaure Salze haben in genügend verdünnter Lösung, ebenso wie auch kleine Mengen indifferenten Stoffe, keinen Einfluß auf die Lebensdauer der Samenfäden, deren Bewegung, wie schon früher bemerkt, bei gleichmäßiger Vertheilung der Äpfelsäure in derselben Weise wie in Wasser fort dauert und auch dann augenscheinlich nicht beschleunigt wird, wenn einseitiger Angriff dieser eine locomotorische Richtungsbewegung veranlaßt.

Zur vergleichenden Prüfung der Lebensdauer der Samenfäden in Regenwasser und verdünnter Lösung von äpfelsaurem Natron vertheilte ich einen Wassertropfen, in welchen zahlreiche Samenfäden eben ausgeschwärmt waren, auf zwei Deckgläser, von denen jedes nachher als Deckel auf die Öffnung des Papprahmens einer Feuchtkammer gelegt wurde. Zu dem einen dieser Tropfen wurde dann sogleich ein ungefähr gleiches Volumen einer Lösung gebracht, die 0.04 Proz. Äpfelsäure, mit Natron neutralisirt, enthielt, so dass der Gehalt der Flüssigkeit auf dem Deckglas an Äpfelsäure sich auf annähernd 0,02 Proz. stellte. In beiden Tropfen hatte die Zahl der schwärmenden Samenfäden nach $\frac{1}{2}$ und $\frac{3}{4}$ Stunden, so weit eine oberflächliche Schätzung ein Urtheil gestattet, in gleichem Verhältniss abgenommen, und nach einer Stunde schwärmten in jedem der beiden Tropfen nur noch einzelne Samenfäden. In drei Versuchen kam ich immer zu demselben Resultate, ebenso, als ich die eine Hälfte der zum Vergleich dienenden Samenfäden in einer ungefähr 0.002 Proz. freie Äpfelsäure enthaltenden Flüssigkeit hielt, und gleiche Lebensdauer ergab sich auch, als ich die Samenfäden in Regenwasser mit solchen verglich, die in eine 0.02 Proz. Salpeter enthaltende Flüssigkeit gebracht worden waren.

In homogener verdünnter Lösung beeinflusst also die Äpfelsäure die Lebensthätigkeit der Samenfäden der Farne jedenfalls nicht in merklicher Weise, während sie durch Concentrationsdifferenz einen richtenden Reiz ausübt. Analoge Verhältnisse bieten übrigens manche andere Reizursachen, wie z. B. Schwerkraft und Feuchtigkeitsdifferenz, die bei einseitigem Angriff Geotropismus und Hydrotropismus veranlassen, bei allseitig gleichmäßiger Wirkung indess die Thätigkeit der Pflanze nicht in auffälliger Weise modificiren. Letzteres geschieht indess durch andere Agentien, jedenfalls durch solche, deren Ausmaß den Gang der allgemeinen Lebensthätigkeit beeinflusst, und die außerdem, wie z. B. Licht bei einseitigem Angriff, noch eine besondere, von diesem abhängige Reizwirkung erzielen. So liegt die Sache auch bei den Schwärmsporen, die durch einseitige Beleuchtung zu phototaktischer Bewegung veranlasst werden und, anderweitiger Beziehung zur Beleuchtung halber, im Dunkeln nicht zur Ruhe kommen¹⁾.

Zur Genüge ist in dem Mitgetheilten die Äpfelsäure als ein spezifisches Reizmittel gekennzeichnet, welches die Samenfäden der Farne veranlasst, nach der concentrirteren Lösung dieses Stoffes und damit nach dem Orte hinzusteuern, von welchem aus die Äpfelsäure in das umgebende Medium diffundirt. Dass in der That nicht fallende Concentration und Diffusionsbewegung als solche ein Reizmittel für die Samenfäden sind, ergibt ja ohne weiteres das indifferente Verhalten dieser, das sie gegenüber Salpeter, Gummi, Zucker und anderen Stoffen zeigen, die in Capillaren zu den

1) Vgl. STRASBURGER, Wirkung des Lichtes u. d. Wärme auf Schwärmsporen 1878. p. 52.

Samenfäden geschoben, gleichfalls sich diffundierend ausbreiten. Vielleicht wird die Zukunft auch noch eine Reizwirkung dieser Diffusionsbewegung im allgemeinen für irgend welche Organismen aufdecken, denen eine derartige Empfindlichkeit nutzbringend in ihrem Leben werden kann. Ob der Hydrotropismus hierher zu zählen ist, oder ob in ihm der Wasserdampf ein spezifisches Reizmittel ist, muss erst durch spezielle Untersuchungen entschieden werden ¹⁾.

Die Äpfelsäure ist mir bis dahin nur als spezifisches Reizmittel für Samenfäden der Farne und von *Selaginella* bekannt geworden, während die Samenfäden von *Marsilia*, sowie die von Laub- und Lebermoosen, ferner die Gameten von *Chlamydomonas* und *Ulothrix* sich jener gegenüber indifferent verhielten, übrigens unter allen diesen nur für die Samenfäden der Laubmoose im Rohrzucker ein spezifisches Reizmittel näher erkannt wurde, das auf diese analog wie Äpfelsäure auf die Samenfäden der Farne wirkt. In Capillaren mit etwas concentrirterer Lösung von äpfelsauren Salzen steuern übrigens auch Bakterien, welche aber nicht durch diesen Körper allein, sondern durch Nährstoffe überhaupt zu locomotorischer Richtungsbewegung gereizt werden.

Beim Einschwärmen der Samenfäden in das Archegonium und die Eizelle, wovon fernerhin die Rede sein wird, kommen auch mechanische Widerstände in Betracht, und um den Einfluss solcher kennen zu lernen, theile ich in Folgendem Beobachtungen mit, welche an den durch Äpfelsäure angelockten Spermatozoiden beim Eindringen in Gummischleim, Traganthschleim, Gelatine und in enge Spalten gewonnen wurden.

Selbst in die recht dickflüssige Lösung von arabischem Gummi, welche 20 Proz. dieses Stoffes und 0.02 Proz. Äpfelsäure als Natronsalz enthielt, drangen Samenfäden immerhin reichlich ein, wenn sich auch eine kleine abstoßende Wirkung bemerken ließ. Freilich wurde schon beim Eintritt in den diffundirenden Schleim, also etwas vor der Öffnung der Glascapillare, die Bewegung retardirt, und nur langsam und mühsam arbeiteten sich die Samenfäden in der Capillare weiter. In verschiedener Entfernung von der Öffnung, zum Theil ganz nahe an dieser, fand ihr Vordringen eine Grenze, und nachdem noch längere Zeit die Wimpern mit mehr und mehr nachlassender Energie sich bewegt hatten, gingen die Samenfäden zu Grunde. Im wesentlichen gleich verhielten sich die Samenfäden gegen dickflüssigen Traganthschleim, der, ohne Zusatz von Äpfelsäure, so wenig wie arabischer Gummi oder Gelatine eine anziehende Wirkung ausübt.

Für das Eindringen, insbesondere in enge Capillaren, gewähren aber diese schleimigen Lösungen, wie schon früher (p. 377) bemerkt wurde,

1) Im Hydrotropismus könnte auch die durch ungleiche Dampfsättigung erzielte verschieden starke Transpiration opponirter Flanken des Organismus die nächste Reizursache werden.

einen Vortheil dadurch, dass sie den Samenfaden mit verlangsamter Bewegung an den Capillarmund ankommen lassen und hierdurch ein Zurückprallen seltner machen, das bei schnellem Heranschießen durch Anstoßen an den Capillarmund häufig veranlasst wird. Ferner ist auch anzuschlagen, dass quellender Schleim, wie es Traganthschleim ist, eine Sphäre um die Capillaröffnung bildet, welche wenigstens durch leichtere Wasserströmung nicht weggewaschen wird, und der aus dem Archegonium hervortretende zähflüssige Schleim ist in dieser Hinsicht noch widerstandsfähiger als Traganthschleim. Mit diesem Schleime wird aber auch das mechanische Fortspülen der den Schleim durchdringenden Äpfelsäurelösung erschwert und erzielt, dass diese allmählich, doch natürlich in bewegtes Wasser schneller, sich verbreitet.

Um wenigstens eine gewisse Vorstellung über den Austritt leicht diffundirender Stoffe zu gewinnen, machte ich folgende Versuche mit 1 $\frac{1}{2}$ prozentiger erstarrter Gelatine, die, wenn auch sehr weich, doch wohl eher im etwas höheren Grade als zähflüssiger Schleim Diffusion und Auswaschen erschwert¹⁾. Mit solcher durch das leicht diffundirende indigschwefelsaure Kalium tief blau gefärbter, durch Wärme verflüssigter Gelatine wurde die Spitze eines Glasstabes überzogen und diese nach dem Erkalten in etwa 400 ccm Wasser eingetaucht, das ruhig stehen blieb. Die erstarrte, bis 3 mm dicke Schicht der Gelatine hatte nach $\frac{1}{2}$ Stunde einen lichtereren dünnen Saum erhalten, der nach 4 Stunde sich verbreitert hatte, während im Inneren die Gelatine noch tief blau war. Nach 2 Stunden war auch im Inneren die Gelatine viel lichter blau geworden und die äußere Partie war nur noch eben bläulich gefärbt. Nach 3 Stunden war leichte Bläuung nur noch in den innersten Schichten deutlich zu bemerken.

Nach diesen Erfahrungen geht, selbst in ruhigem Wasser, die Diffusion aus Gelatine ziemlich schnell von statten und aus Schleimmassen, deren Durchmesser 4 mm nicht erreicht, wie es bei dem aus dem Archegonium ausgeworfenen Schleim der Fall ist, wird also die leicht diffundirende Äpfelsäure durch eine genügende Wassermenge in einer beschränkteren Zeit entfernt werden.

Ähnlich wie in die oben genannten schleimigen Flüssigkeiten arbeiten sich die Samenfäden auch in recht weiche Gelatine hinein, während sie an etwas consistenterer Gelatine abprallen. Das Eindringen gelang in eine Gelatinmasse, die 0.7 Proz. Gelatine und 0.4 Proz. Äpfelsäure als Natronsalz enthielt und im erstarrten Zustand bei 16° C. so weich war, dass Glasstückchen von 4 mm Durchmesser zwar in Ruhe darauf liegen blieben, bei häufigen Erschütterungen des Gefäßes aber allmählich einsanken. In eine etwas consistenterer, mit 4 Proz. hergestellte Gelatinmasse gelang schon das Eindringen nicht mehr.

1) Nach GRAHAM (Annal. d. Chemie u. Pharmac. 1862. Bd. 121) diffundiren Salze in gallertartige Substanzen so schnell wie in reines Wasser.

Mit diesen festweichen Massen operirte ich, sowohl, indem ich Stückchen derselben direkt unter Deckglas brachte, als auch, indem ich die bei gelinder Temperatur verflüssigte Gelatine in eine Glascapillare füllte. In letzterem Falle wurde, um das Erstarren sicher zu erreichen, dann einige Zeit auf 0 bis $1/2^{\circ}$ C. abgekühlt, darauf mit einer Nadelspitze unter Wasser die Gelatine auf $1/2$ bis $3/4$ mm aus der Capillare entfernt und diese dann zu den Samenfäden geschoben. Letztere dringen nun in den wassererfüllten Raum der Capillare und stoßen, bis dahin schnell vorwärts steuernd, gegen die Gelatine. Selbst an der weichen, 0.7 prozentigen Gelatinmasse prallt (bei 16° C.) ein guter Theil der Samenfäden ab, biegt seitlich aus, um zurückkehrend von neuem das Eindringen zu versuchen. So entsteht ein lebhaftes Getümmel um die Gelatine, während dessen es einzelnen Samenfäden gelingt, in die Masse der Gelatine einzudringen und sich mit sehr verlangsamter Bewegung mehr oder weniger tief hinein zu arbeiten. Abgesehen davon, dass dieses Eindringen unterbleibt, spielt sich die Sache in gleicher Weise ab bei Verwendung einer 4 prozentigen Gelatinmasse. Werden Klümpchen von $1/2$ bis 1 mm Durchmesser solcher äpfelsäurehaltigen Gelatine direkt unter Deckglas gebracht, so stürzen von allen Seiten Samenfäden gegen jene hin, Anprallen, Umspielen und eventuell Eindringen wickeln sich aber in analoger Weise, wie in der Capillare ab, in welcher natürlich nur die freie Fläche den Samenfäden einen Angriffspunkt bietet.

Ähnlichen Erscheinungen wie den oben beschriebenen werden wir beim Eindringen der Samenfäden in die Eizelle begegnen.

Während und nach dem Eindringen in Gummischleim, Traganthschleim u. s. w. verändern die Samenfäden ihre schraubige Körperform jedenfalls nicht erheblich und dieses geschieht auch nicht beim Eindringen in concentrirte Salpeterlösung, welche durch ihre osmotische Wirkung die schnell ihr Leben einbüßenden Samenfäden schrumpfen macht. Dagegen kann der Körper zu steilerer Spirale ausgezogen und damit mehr oder weniger gestreckt werden, wenn sich die Samenfäden durch enge Kanäle durchzwängen oder auch wenn die mitgeschleppte Blase festklebt und der Samenfaden mit genügender Energie vorwärtsstrebt. Beide Ursachen, oder auch die erstgenannte allein, veranlassen in der That beim Einschwärmen in das Archeonium die hier zum Theil sehr weitgehende Streckung des Körpers der Samenfäden.

Bleiben die Samenfäden mit ihrem etwas klebrigen Bläschen an einem Stückchen Pflanzengewebe, an Gelatine oder überhaupt an irgend einem festen Körper hängen, so gelingt es ihnen öfters, doch keineswegs immer, von dem Bläschen sich loszureißen. Dabei kann sich, wie schon STRASBURGER ¹⁾ bemerkte, das hintere Ende des Spermatozoiden zu einem Faden

¹⁾ Jahrb. f. wiss. Bot. 1869—70. Bd. 7. p. 396.

ausziehen, der endlich reißt und dem bis dahin gehemmten Samenfaden gestattet, nun eilig fortzuschwimmen.

Während dieses durch das Festkleben verhinderten Vorwärtstrebens sieht man an manchen Samenfäden den Körper deutlich gestreckt werden und also periodisch die Steilheit seiner Schraubenwindung ändern. Es ist dieses offenbar eine Folge des mechanischen Zuges, welchen die vorwärtstrebende Bewegungskraft ausübt. Aber lange nicht bei allen Samenfäden kommt unter solchen Verhältnissen eine merkliche Körperstreckung zuwege, und wir dürfen wohl vermuthen, dass in dem individuell verschiedenen Verhältniss zwischen Bewegungskraft und Elastizität des Körpers die Ursache dieses ungleichen Verhaltens liegt.

Einen Unterschied in diesen Vorgängen konnte ich nicht bemerken, wenn sich die Samenfäden in mäßig dickem Traganthschleim oder in homogener Äpfelsäurelösung von 0.02 Proz. Gehalt (als Natronsalz) befanden. Dagegen hat es mir scheinen wollen, als ob die Samenfäden sich leichter von ihrem Bläschen abrissen, wenn durch ungleiche Concentration der Äpfelsäure ein richtender Bewegungsreiz ausgeübt wird. Man kann dieses wohl auch verständlich finden, wenn man bedenkt, dass durch den anziehenden Reiz ein energisches Streben der Samenfäden nach einem bestimmten Ziele zu stande kommt, ein Streben, das auch in der geradliniger werdenden Bewegungsbahn sich ausspricht. Da aber die Bewegung selbst nicht beschleunigt zu werden scheint (vgl. p. 374), so kann freilich der Gewinn an Bewegungskraft unter dem Einflusse eines solchen Reizes, wenn überhaupt vorhanden, nur gering sein, und so vermögen wir auf Grund dieser Erfahrungen nicht sicher zu behaupten, dass ein solcher Richtungsreiz durch Äpfelsäure nothwendig das Abreißen der festgehaltenen Blase befördert, das freilich schon durch eine sehr geringe Verstärkung des Zuges sehr begünstigt werden könnte. Meine direkten Beobachtungen erlauben mir auch nicht, ein wirklich entscheidendes Wort in dieser Frage zu sprechen.

In den bezüglichen Versuchen vertheilte ich in das die Samenfäden enthaltende Wasser ein klein wenig feines Traganthpulver, um durch die aufquellenden Partikel dieses Anheftungspunkte für die Blase der Samenfäden zu gewinnen. Als ich dann nach einiger Zeit eine Capillare mit 0.4 Proz. Äpfelsäure, als Natronsalz, zuschob, hatte ich im ganzen den Eindruck, als ob die in die Anziehungssphäre dieser Capillare gerathenen anklebenden Samenfäden sich leichter losrissen, als ferner befindliche, welche dem Richtungsreiz nicht unterworfen waren. Da aber bei diesen Versuchen verschiedene Nebenumstände mit in Betracht kommen, kann ich dieselben um so weniger für entscheidend ansehen, als ich nur eine beschränkte Zahl von Beobachtungen anstellte. Übrigens sei hier noch bemerkt, dass dieses Abstreifen der Blase sowohl an den in Wasser, als den in mäßig dichtem Traganthschleim befindlichen Samenfäden vorkommt, und durch die Gegenwart des Schleimes eher gehindert, als gefördert scheint.

Die Streckung des Körpers, welche jeder Samenfaden beim Einschwärmen in das Archegonium durchzumachen hat, tritt auch ein, wenn ein Spermatozoid sich durch irgend einen anderen engen Raum hindurcharbeiten muss. Ich verfolgte u. a. diesen Vorgang an Längsschnitten aus dem Mark von *Helianthus annuus* und *Momordica elaterium*, die unter der Luftpumpe mit 0.04 proz. Äpfelsäure (als Natronsalt) injiziert worden waren und nach dem Abspülen zu den Samenfäden gebracht wurden. Von den gegen den Schnitt sich drängenden Samenfäden gelangten einzelne auch in enge Inter-cellularräume oder durch Risse der Zellhaut in verletzte Zellen. In beiden Fällen streckte sich der sich durch den zu engen Raum schraubende Körper zu einer um so steileren Spirale, je enger der zu passierende Raum war. Gelangte er damit in einen ihm Spielraum gewährenden Raum, so nahm der Samenfaden die frühere Gestalt wieder an. Behielt dagegen der Samenfaden, weil er in einen engen Capillarraum sich festgerannt hatte, die gestreckte Form längere Zeit, so glich er wenigstens dann nur einen Theil der Streckung aus, wenn es ihm gelang, mit schon stark verlangsamter Bewegung und schon näher seinem Lebensende aus seinem Gefängnis zu entkommen. Ich sah solches einigemal, als ich durch Zerreißen des Pflanzengewebes den Samenfäden Freiheit geschaffen hatte, und öfters läßt sich ohne Mühe gleiches am Archegonium beobachten. Mit dem Tode verharret der Samenfaden, zunächst wenigstens, in der gestreckten Gestalt. Auch bei solchem Einschlüpfen in enge injicirte Inter-cellularräume sah ich wiederholt das Abstreifen der Blase.

Die mitgetheilten Versuche lehren, dass die Streckung der sich durchzwängenden Samenfäden nicht an ein schleimiges Medium gebunden ist, in welchem sich jene beim Einschlüpfen in das Archegonium vollzieht. Auch in Äpfelsäure enthaltendem, in einer Capillare befindlichem Traganthschleim beobachtete ich wiederholt solche Körperstreckungen, als ich den Schleim absichtlich so darstellte, dass darin Klümpchen von Traganth blieben, die dann hier und da bis auf enge Spalten aneinanderschlossen, durch welche sich gelegentlich ein Samenfaden hindurchzwängte. Besser noch erreichte ich diesen Zweck, als ich dem Traganthschleim etwas Weizenstärke beimischte und innerhalb der Capillare die Flüssigkeit so weit erhitzte, dass eine partielle Verkleisterung der Stärke eintrat.

Als Ursache der Körperstreckung der Samenfäden haben wir also kennen gelernt 1) den nach Festkleben der Blase von dem fortstrebenden Samenfaden ausgeübten mechanischen Zug, und 2) als allgemeinere und wirksamere Ursache das Hindurchzwängen durch enge Kanäle. Ob in letzterem Falle nur mechanischer Druck oder auch noch Reizwirkungen durch Contact im Spiele sind, wage ich nicht zu entscheiden. Als Thatsache kann ich nur berichten, dass ich in Inter-cellularen des Markes von *Momordica* eingedrungene Samenfäden fand, welche ihre übliche Körperform bewahrten, obgleich bei ihrer Drehung um die Achse die Cilien dauernd die begrenzende

Zellwand des Kanales streiften, dessen geringer Durchmesser eine völlige Ausstreckung der Cilien in einer zur Körperachse senkrechten Richtung gar nicht gestattete. In anderen Fällen war unter gleichen Umständen aber der Körper des Samenfadens zu einer steileren Spirale geworden, obgleich er selbst nicht an die Wandungen des Raumes anstieß. Doch wäre es immerhin denkbar, wenn auch nicht wahrscheinlich, dass in solchem Falle die wie Speichen gegen die Wand sich stemmenden Cilien durch mechanische Wirkung die Streckung erzielten.

5. Verhältniss zwischen Reizgröfse und Reaktionsgröfse.

Über die Beziehung zwischen Reizgröfse und Reizerfolg sagen die bis dahin mitgetheilten Erfahrungen nur so viel bestimmt aus, dass mit zunehmender Concentration die anziehende Wirkung auf Samenfäden der Farne abnimmt, um endlich einer durch zu hohe Dichte der Lösung erzielten Abstoßung Platz zu machen, dass es also ein Maximum des Reizerfolges giebt, welches wir nach dem Sprachgebrauch der Pflanzenphysiologie Optimum nennen. Näheres über das Verhältniss zwischen Reizgröfse und Reizerfolg oberhalb der Reizschwelle und unterhalb des Maximums soll in Folgendem mitgetheilt werden. Zuvor dürften aber einige allgemeinere Bemerkungen geboten sein.

Von der Reizbarkeit erlangen wir nur Kenntniss durch den Erfolg, durch die ausgelöste Reaktion, welche in Form einer äußeren oder inneren Bewegung sich kund giebt. In den unmittelbarsten Prozess der Reizung, in die moleculären Vorgänge, welche sich in der Wechselwirkung zwischen Reiz und sensiblen Theilen des Organismus abspielen, haben wir noch in keinem Falle Einsicht gewonnen und von der Kette von Prozessen, welche als Bindeglieder zwischen diesem Reiz und der Reaktion stehen, haben wir, wenn überhaupt einige, doch immer nur sehr lückenhafte Kenntniss. Mit dem Reizerfolge ist aber die spezifische Fähigkeit des Organismus constatirt, auf Eingriffe in bestimmter Weise zu reagiren, und wie man dieserhalb von einer Empfindlichkeit des Organismus längst spricht, nehme ich auch keinen Anstand, dem Organismus Empfindung zuzuschreiben. Diese Bezeichnung erlangt somit einen weiteren Umfang, als ihr in der psychologischen Physiologie zukommt, in welcher übrigens in der von allem Psychologischen entkleideten reinen Empfindung, als Bindeglied zwischen Physiologischem und Psychischem, nur ein nach Stärke und Qualität veränderliches inneres Sein verstanden wird¹⁾, und in der man auch von unbewussten Empfindungen redet.

Unsere eigenen Empfindungen werden uns nur durch psychologische

1) Vgl. z. B. WUNDT, Grundzüge d. physiolog. Psychologie 1874. p. 273; NÄGELI, Theorie d. Abstammungslehre 1884. p. 596.

Vorgänge bewusst, welche uns ermöglichen, auf Grund von Erfahrungen über die relative Größe zweier verschiedener Gewichte oder anderer Reize zu urtheilen, indess keinen Aufschluss über das Verhältniss geben, in welchem die durch die beiden Gewichte hervorgerufenen unmittelbaren Empfindungen stehen¹⁾. Von der Empfindung der außerhalb uns stehenden Organismen wird uns nur durch die als Folge sich ergebende Reaktion Kenntniss, und wenn wir auch so in die Lage kommen können, die Relation zwischen Größe des Reizes und der ausgelösten Bewegungen mit mechanischem Maße zu messen, so ist damit doch noch nicht das Verhältniss eruirt, welches zwischen den einzelnen Abschnitten der Reiz und Reaktion verkettenden Vorgänge besteht. Denn wenn auch z. B. der unmittelbarste Reizungsvorgang der auslösenden Aktion proportional steigen und fallen sollte, so ist deshalb doch ein ganz anderes Verhältniss z. B. zwischen der endlich ausgelösten Bewegung und dem sie unmittelbar veranlassenden Anstoß möglich. Bei der Unkenntniss dieser verkettenden Vorgänge lässt sich also derzeit nur das Verhältniss zwischen der Größe des Reizes und dem endlichen Erfolge ins Auge fassen. Wenn wir dennoch in Folgendem vom Verhältniss des Reizes und der Empfindung reden, so ist diese der Reaktionsgröße substituirt, und diese an sich derzeit eigentlich unzulässige Substituierung, welche nach diesen Vorbemerkungen zu keinen Missverständnissen Veranlassung geben kann, mag gestattet sein, um die analogen Verhältnisse zu kennzeichnen, welche zwischen Reiz und Empfindung im Menschen und zwischen Reiz und Reaktionsgröße in den Pflanzen bestehen. Ohnedies wird bei Feststellung der eben merklichen Reaktion bei verschiedenem Reize auch die Unterschiedsschwelle der Empfindung bestimmt, da ja erst bei einem gewissen Maße dieser die Reaktion eine merkliche Größe erreicht.

Ein Reiz vermag immer erst bei einer gewissen endlichen Größe, der Reizschwelle FECHNER's, eine merkliche Empfindung resp. Reaktion zu erzielen, die aber vermöge der durch die physische Organisation beschränkten Aktionsfähigkeit mit dem Reize nur eine Steigerung der ausgelösten Thätigkeit bis zu einem gewissen Grade zulässt. Die obere Grenze, über die hinaus eine Steigerung der Reizstärke die Größe der Reaktion nicht mehr zu verstärken vermag oder gar eine Abnahme dieser bewirkt, können wir mit WUNDT den Höhenwerth des Reizes (die Reizhöhe) nennen. Die Empfindlichkeit ist natürlich um so größer, je tiefer der Schwellenwerth des Reizes liegt, doch mit Verschiebung dieses wird nicht nothwendig der Reizumfang, das Verhältniss zwischen Schwellenwerth und Höhenwerth des Reizes verändert. Natürlich sind Reizschwelle, Reizhöhe und Reizumfang spezifisch (und auch wohl individuell) different. Dieses gilt ebenso für die Unterschiedsschwelle (von FECHNER auch Verhältnisschwelle ge-

1) Vgl. z. B. EXNER, in HERMANN, Handbuch d. Physiologie 1879. II. 2. p. 246.

nannt) des Reizes und der Reaktion, resp. der Empfindung, wobei wir unter Unterschiedsschwelle den Reizzuwachs verstehen, welcher einem schon vorhandenen Reize hinzugefügt werden muss, um eine eben merklich werdende Reaktion (Empfindung) zu erzielen. Die eben merklich werdende Reaktion ist natürlich immer dieselbe constante Größe, zu deren Erzielung aber ein nach der Intensität des schon vorhandenen Reizes verschiedener absoluter Reizzuwachs nöthig sein kann und bei den Samenfäden der Farne nöthig ist, indem bei diesen die Unterschiedsschwelle der Empfindung zu dem Reizzuwachs in analogem Verhältniss steht, wie es das für unsere eignen Empfindungen gültige WEBER'sche Gesetz aussagt.

Auf der Unterschiedsschwelle basiren die verschiedenen Methoden, welche zur Ermittlung des Verhältnisses zwischen Reizzuwachs und Empfindung in uns selbst angewandt sind, ¹⁾ und zur Erforschung dieser Beziehungen bei den Samenfäden der Farne habe ich denselben Weg betreten.

Es wurden zu dem Ende die Prothallien statt in Wasser, in eine Lösung von neutralem äpfelsauren Natron gebracht und übrigens wie sonst behandelt. Durch Einbringen des Objektträgers in eine Feuchtkammer war dafür gesorgt, dass sich bis zum Erscheinen der Samenfäden und während der darauf folgenden Beobachtung die Concentration der unter Deckglas befindlichen Lösung nicht änderte. Darauf wurde eine Capillare mit äpfelsaurem Natron hinzugeschoben und durch vergleichende Versuche ermittelt, bei welcher Concentration eine eben merklich werdende anziehende Wirkung sich einstellte. Diese machte sich ganz in derselben Weise geltend, wie bei Erreichung der Reizschwelle, von der früher (p. 379) gehandelt wurde. Wie bei den auf diese bezüglichen Experimenten, musste auch bei Ermittlung der Unterschiedsschwelle, der Diffusion der Äpfelsäure halber, insbesondere auf das Verhalten der Samenfäden in der nächsten Zeit nach Zuschiebung der Capillare Gewicht gelegt werden.

Das unmittelbare Resultat dieser Versuche war, dass stets eben merkliches Einschwärmen begann, wenn die Äpfelsäurelösung in der Capillare die 30 fache Concentration der Außenflüssigkeit besaß, in welcher sich die Samenfäden von *Adiantum cuneatum* befanden. So wurden in einer Versuchsreihe bei 17° C. folgende Combinationen geprüft :

Die Außenflüssigkeit enthält Äpfelsäure:	Die Capillarflüssigkeit besitzt die			
	20	30	40	50 fache Concentration und enthält an Äpfelsäure:
1) 0.0005 Proz.	0.01 Proz.	0.015 Proz.	0.02 Proz.	0.025 Proz.
2) 0.001 -	0.02 -	0.03 -	0.04 -	0.05 -
3) 0.01 -	0.2 -	0.3 -	0.4 -	0.5 -
4) 0.05 -	1.0 -	1.5 -	2.0 -	2.5 -

In obiger Tabelle ist in jeder der 4 Horizontalreihen der Gehalt an Äpfelsäure in der Außenflüssigkeit und in denjenigen Capillaren verzeich-

1) Vgl. z. B. WUNDT, Grundzüge d. physiologischen Psychologie 1874. p. 300.

net, welche zu den ausgeschwärmten Samenfäden geschoben wurden. Für die 20 fache und 30 fache Concentration der Capillarflüssigkeit wurde jeder Versuch mindestens viermal, für die 40 und 50 fache Concentration zweimal wiederholt. Als Resultat ergab sich, dass bei 40 und 50 facher Concentration stets eine Anziehung der Samenfäden eintrat, die aber auch in allen der 16 einzelnen Experimente bei 30 facher Concentration merklich war und ungefähr so ausfiel, wie bei Erreichung der Reizschwelle, d. h. wenn zu in Wasser befindlichen Samenfäden eine Capillare mit 0.004 Proz. Äpfelsäure geschoben wurde. Für die 20 fache Concentration der Capillarflüssigkeit sah ich keinmal eine sichere Anziehung, von der aber in drei von den 16 Versuchen eine unbestimmte Andeutung bemerklich zu werden schien.

Darnach würde also die Unterschiedsschwelle bei der 30 fachen Concentration in analogem Sinne erreicht sein, wie die Empfindungsschwelle bei 0.004 Proz. Äpfelsäure, denn etwas tiefer liegende Concentration übte bei den auf letztere bezüglichen Versuchen zuweilen auch eine unbestimmte Anziehung aus. Gelegentlich dieser Versuche ist schon darauf hingewiesen, dass aus verschiedenen Gründen eine größere Annäherung an den Schwellenwerth kaum zu erreichen ist, und auch nach den oben mitgetheilten Resultaten hätte es keine Bedeutung gehabt, noch näher den Werth der Unterschiedsschwelle präcisiren zu wollen, den wir übrigens unter Annahme der 30 fachen Concentration eher etwas zu hoch als zu niedrig schätzen.

Zu gleichem Resultate wie die mitgetheilten Experimente führten ebenso andere Versuchsreihen, in denen auch die Unterschiedsschwelle für Samenfäden constatirt wurde, welche in einer 0.04 Proz. Äpfelsäure enthaltenden Lösung sich befanden. Jede einzelne Versuchsreihe wurde immer in einem Tage erledigt und dabei Sorge getragen, dass die in ihr verwandten Capillaren annähernd gleichen Durchmesser besaßen, der in den näher mitgetheilten Experimenten zwischen 0.125 und 0.135 mm lichter Weite lag. Auch wurde noch in anderen Experimenten festgestellt, dass gar keine Anziehung stattfand, wenn die Capillarflüssigkeit 10 oder 5 mal mehr Äpfelsäure als die den Samenfäden zum Aufenthalt dienende Flüssigkeit enthielt. Besonders mag auch noch bemerkt sein, dass die Reizschwelle der Samenfäden unverändert bei einem Gehalt von 0.004 Proz. Äpfelsäure in der Capillare gefunden wurde, als die Außenflüssigkeit 0.02 Proz. Salpeter oder 0.05 Proz. Rohrzucker, also indifferente Stoffe enthielt.

Als unmittelbarer Ausdruck der nachgewiesenen Beziehungen ergibt sich, dass der Zuwachs des Reizes, welcher eine eben merkliche anziehende Wirkung auf die Samenfäden ausübt, zu der Reizgröße, zu welcher er hinzukommt, stets in demselben Verhältniss steht. Da nach unseren Erfahrungen zur Erreichung der Unterschiedsschwelle die Capillarflüssigkeit 30 mal concentrirter sein muss, als die Aufenthaltsflüssigkeit der Samenfäden, so bedarf es also einer 29 fachen Steigerung des Reizes zur Erzeugung eben

merklicher Empfindung. Doch können wir, der abgerundeten Zahl halber, ruhig eine 30 fache Steigerung annehmen, da die Grenzwerte ohnedies nur eine angenäherte Genauigkeit erreichen konnten, die übrigens völlig ausreichend ist, um die Richtigkeit der auf diese Experimente zu bauenden Schlüsse darzuthun.

Die Äpfelsäure übt also auch dann, wenn sie allseitig gleichmäßig die Samenfäden umgibt, eine spezifische Wirkung auf die Samenfäden, deren absolute Empfindlichkeit gegen Äpfelsäure sie herabdrückt. Denn während die Reizschwelle für die in Wasser befindlichen Samenfäden schon bei 0.004 Proz. Äpfelsäure erreicht ist, muss zur Erreichung der Unterschiedsschwelle die Capillarflüssigkeit bei einem Gehalt des umgebenden Wassers von 0.0005 Proz. Äpfelsäure 0.045 Proz., und bei einem Gehalt des Wassers von 0.05 Proz. Äpfelsäure 4.5 Proz. von diesem Reizmittel enthalten.

Auch der gleichsinnige Reaktion erzielende Reiz der Maleinsäure beeinflusst das Empfindungsvermögen der Samenfäden im besagten Sinne. Doch habe ich nur constatirt, dass ein Gehalt der Außenflüssigkeit von 0.05 Proz. der weniger wirksamen Maleinsäure (als Natronsalz) das Einschwärmen der Samenfäden in eine 0.04 Proz. Äpfelsäure (als Natronsalz) enthaltende Capillare verhinderte, ohne näher zu untersuchen, bei welchem Verhältniss dieser Stoffe die Unterschiedsschwelle erreicht wird. Ich lasse somit dahin gestellt, ob für die Unterschiedsschwelle dasselbe Verhältniss besteht, wie für die Reizschwelle beider Stoffe, hinsichtlich derer die Maleinsäure ein ungefähr 40 bis 50 mal weniger wirksames Reizmittel als die Äpfelsäure ist, da (p. 382) die Reizschwelle für Maleinsäure erst erreicht wurde, wenn die Capillarflüssigkeit 0.04 bis 0.05 Proz. dieses Stoffes enthielt, während die Reizschwelle für Äpfelsäure bei 0.004 Proz. liegt.

Gleiche Beziehungen, wie diese für die Samenfäden der Farne erörterten, bestehen auch in uns hinsichtlich des Verhältnisses von Reiz, Reizzuwachs und Empfindung, und diese als WEBER'sches Gesetz oder als Psychophysisches Gesetz bekannten Beziehungen sind Gegenstand vielfacher Untersuchungen gewesen, die sich aber sämmtlich nur auf die Sinnesempfindungen des Menschen beziehen¹⁾. Nach diesem WEBER'schen Gesetze muss z. B. ein Gewicht von 1 g um $\frac{1}{3}$ g, von 2 g um $\frac{2}{3}$ g u. s. w. vermehrt werden, damit ein eben merklicher Unterschied der Empfindung wahrgenommen wird, und in analoger Weise ist die bezügliche Verhältniss-constante für Schallwahrnehmung ungefähr $\frac{1}{3}$, für Temperatur $\frac{1}{30}$, für Licht $\frac{1}{100}$ ²⁾. Unser Vermögen der Unterschiedsempfindung ist also viel feiner als das der Samenfäden der Farne, bei denen erst mit 30 facher Steigerung des Reizes die Unterschiedsschwelle erreicht wird.

1) Von Literatur nenne ich hier FECHNER, Elemente der Psychophysik 1860, und Revision d. Hauptpunkte d. Psychophysik 1882. WUNDT, Grundzüge d. physiolog. Psychologie 1874.

2) Vgl. z. B. WUNDT, Lehrbuch d. Physiologie 1878. IV. Aufl. p. 589.

Das WEBER'sche Gesetz scheint für alle unsere Sinnesorgane zu gelten, doch kann es nicht wunder nehmen, wenn Abweichungen von dem mathematischen Ausdruck sich bei Prozessen ergeben, die von vielen Umständen abhängig sind und von Nebenumständen beeinflusst werden¹⁾. Ohnehin muss mit steigendem Reize endlich eine Abweichung eintreten, da ja von einer gewissen Größe des Reizes ab eine Zunahme der Intensität dieser Empfindung oder Reaktion nicht mehr zu vermehren vermag und dieser Übergang sicher nicht ganz plötzlich eintritt, sondern allmählich sich einstellen wird. Es gilt dieses, wie für alle physiologischen Funktionen, auch für die Samenfäden und bewahrheitete sich in einem Versuche, in welchem sich die Samenfäden in einer 0,09 Proz. Äpfelsäure (als Natronsalz) enthaltenden Flüssigkeit befanden. Denn als zu dieser Capillaren geschoben wurden, deren Inhalt in Form des Natronsalzes die 40 fache (3.6 Proz.) und 50 fache (4.5 Proz.) Menge Äpfelsäure enthielten, machte sich keine Anziehung geltend und bei höherer Concentration wäre diese auch kaum noch hervorgetreten, da schon ein Gehalt von 5 Proz. Äpfelsäure erhebliche abstoßende Wirkung auf Samenfäden erzielt (p. 386).

Abgesehen von dieser mit höherer Concentration eintretenden Abweichung hat das WEBER'sche Gesetz für die Samenfäden der Farne unter normalen Verhältnissen jedenfalls eine dem mathematischen Ausdruck nahe kommende Gültigkeit. Auch bei 5° C., während die Bewegung der Samenfäden schon merklich verringert war, war noch die 30fache Concentration der Capillarflüssigkeit nöthig, um eine eben merkliche Reaktion an den Spermatozoen zu bemerken, welche sich in einer 0,004 Proz. Äpfelsäure enthaltenden Flüssigkeit befanden.

Wie sich die Unterschiedsempfindlichkeit bei Samenfäden gestaltet, deren Lebensthätigkeit verlangsamt oder sonst beeinflusst ist, habe ich nicht untersucht. Es ist aber einleuchtend, dass unter constanten Bedingungen das WEBER'sche Gesetz auch dann seine Gültigkeit behalten kann und wohl im allgemeinen auch behalten wird, wenn auch die Relation zwischen Reiz und dem zur Erzielung merklicher Reaktion nöthigen Reizzuwachs einen anderen Werth annimmt. Diese Überlegung gilt auch für Samenfäden mit individuell differenter Empfindlichkeit. Immerhin sind aber auch Verhältnisse denkbar, die durch besondere Eingriffe eine Abweichung von den an sich angestrebten Beziehungen erzielen könnten, welche im WEBER'schen Gesetze ausgesprochen sind; doch da mir thatsächliche Beobachtungen in dieser Richtung für unsere Objekte nicht aufgestoßen sind, verzichte ich darauf, solche Eventualitäten zu discutiren.

1) Das in dieser Hinsicht über unsere Empfindungen Bekannte findet sich in den oben genannten Schriften. Ebenda sind auch die Einwände behandelt, auf Grund deren die Gültigkeit dieses Gesetzes von einzelnen Autoren in Frage gestellt wurde, so namentlich von G. E. MÜLLER, Zur Grundlegung d. Psychophysik 1878.

Die von FECHNER herbeigeführten Erweiterungen und Verallgemeinerungen des WEBER'schen Gesetzes sind in der citirten Literatur zu finden und hier beschränke ich mich darauf, einige uns näher liegende Folgerungen darzulegen.

In anderer Formulirung lässt sich das WEBER'sche Gesetz auch so ausdrücken: Während der Reiz in geometrischer Progression zunimmt, wächst die Empfindung (die Reaktion) in arithmetischer Progression; oder: soll die Intensität der Empfindung (Reaktion) um gleiche absolute Größen zunehmen, so muss der relative Reizzuwachs constant bleiben; oder: ein Unterschied je zweier Reize wird als gleich groß empfunden, wenn das Verhältniss dieser unverändert bleibt. Die beiden letzten Ausdrucksweisen des Gesetzes ergeben sich unmittelbar aus der ersten, die hier in elementarer Entwicklung veranschaulicht werden mag.

Befinden sich Samenfäden in homogener Äpfelsäurelösung von bestimmter Concentration, so sind sie einem gewissen Reize R unterworfen, der auf sie eine entsprechende Wirkung W ausübt, auch wenn unter diesen Umständen keine locomotorische Richtungsbewegung eintritt. Soll nun diese eben merklich werden, so muss die Reizwirkung auf die Samenfäden, und demgemäß die Reizempfindung dieser um eine kleine Größe w gesteigert werden. Es ist dieses erreicht, wenn die Flüssigkeit in der zugeschobenen Capillare 30 mal mehr Äpfelsäure enthält als die Außenflüssigkeit, und nun sind die angelockten Samenfäden dem Reize $R + 30 R$ ausgesetzt. Denken wir uns nun die Samenfäden in dieser concentrirteren Flüssigkeit, so muss, um wieder eben merkliche Anziehung zu erzielen, die Empfindung um die gleiche Größe w von neuem gesteigert werden, indem eine Capillare zugeschoben wird, deren Concentration, resp. Reizwirkung entspricht $34 R + 30 \cdot 34 R$. So fortfahrend erhalten wir das Gesetz, nach welchem Reiz und Empfindung (Reaktion) wachsen, nämlich

	R entspricht W
$R + 30 R = 34 R$	$- W + w$
$34 R + 30 \cdot 34 R = 34 \cdot 34 R$	$- W + w + w$
$34 \cdot 34 R + 30 \cdot 34 \cdot 34 R = 34 \cdot 34 \cdot 34 R$	$- W + w + w,$

d. h. die Empfindung (die Reaktion) wächst in arithmetischer Progression, während der Reiz in geometrischer Progression zunimmt.

In unseren Experimenten hielten wir uns an die Unterschiedsschwelle der Empfindung, die, mag auch die absolute Reizwirkung variiren, doch immer eine constante Größe ist, denn stets beobachten wir ja das eben Merklichwerden der Reaktion, welche bei geringerer anziehender Reizwirkung verschwindet, bei größerer Reizwirkung die Schwelle übersteigt. Nehmen wir aber an, diese sei in allen vergleichenden Versuchen um ein gewisses, aber constantes Maß überschritten, der Reiz sei also dem entsprechend gesteigert, so bleibt obige Entwicklung unverändert. Damit ergibt sich auf

Grund des ermittelten Werthes der Unterschiedsschwelle allgemein das oben schon in Worten formulirte Verhältniss, nach welchem die Empfindung mit steigendem Reize zunimmt.

Dieselbe Beziehung wie zwischen Reiz und Empfindung (Reaktion) besteht aber auch zwischen den Grundzahlen und den zu ihnen gehörigen Logarithmen; diese ändern sich um gleiche absolute Größen, wenn die Grundzahlen um gleiche relative Größe zunehmen. Somit kann man dem WEBER'schen Gesetz den mathematischen Ausdruck geben: Die Empfindung ist proportional dem Logarithmus des Reizes. Bezeichnet man die Empfindung mit E , die zugehörige Reizstärke mit R , den Schwellenwerth des Reizes (bei dem $E = 0$ wird) mit s und mit C eine Constante so ist dann also

$$E = C \cdot \log \frac{R}{s} \text{ 1).}$$

Die Wahl der Einheiten für Reiz und Empfindung ist beliebig zu treffen, doch ändert sich natürlich mit den Einheiten die empirisch zu ermittelnde Constante. Um die Formel möglichst einfach zu gestalten, nimmt man als Einheit des Reizes den Schwellenwerth dieses, wodurch obige Formel zu $E = C \cdot \log R$ wird. Die Constante C aber wird 1, wenn man als Einheit der Empfindung die Grundzahl des bezüglichen Logarithmensystems nimmt, da der Logarithmus bekanntlich in jedem System $= 1$ ist²⁾. Die Empfindungseinheit entspricht also bei Anwendung BRIGGI'scher Logarithmen dem 10fachen, bei Anwendung natürlicher Logarithmen dem e fachen (2,718... fachen) des Schwellenwerthes des Reizes. Mit diesen Einheiten erhält dann die sog. Maßformel FECHNER's den einfachsten Ausdruck $E = \log R$.

Um zu veranschaulichen, welche Empfindungen gegebenen Reizen und umgekehrt entsprechen, theile ich folgende Tabellen mit, die nach obiger Formel berechnet sind, in welcher also der Schwellenwerth als Reizeinheit und die dem e fachen Werth dieses entsprechende Reaktion (Empfindung) als Einheit der Empfindung gewählt ist³⁾. In der Tabelle I ist die zum Reize gehörige Empfindung, in Tabelle II der zur Empfindung gehörende Reiz verzeichnet.

1) Näheres ist in der früher genannten Literatur nachzusehen. Ebenda ist auch gezeigt, wie diese Formel aus den Differentialgrößen sich einfach ergibt.

2) Sei die Grundzahl des Logarithmensystems a , so wird die letztgenannte Formel $1 = C \log a$. Also $C = \frac{1}{\log a}$, und da $\log a = 1$, wird $C = 1$.

3) Ich entnehme diese Tabelle aus FECHNER, Elemente d. Psychophysik 1860. Bd. 2, p. 54.

I.			II.		
R	E	$\frac{E}{R}$	E	R	$\frac{E}{R}$
0	—	—	0	1	0
1	0	0	1	2.7183	0.36788
1.5	0.4055	0.27034	1.5	4.4817	0.33469
2	0.6934	0.34657	2	7.3891	0.27067
2.718	1.0000	0.36788	2.718	15.154	0.17938
3	1.0986	0.36620	3	20.086	0.14936
4	1.3863	0.34657	4	54.598	0.07326
5	1.6094	0.32188	5	148.41	0.03369
6	1.7918	0.29821	6	403.43	0.01487
7	1.9459	0.27799	7	1096.6	0.00640
8	2.0794	0.25993	8	2981.0	0.00268
9	2.1972	0.24413	9	8103.4	0.00088
10	2.3026	0.23026	10	22026.0	0.00005

Auf der Tabelle beginnt natürlich die Empfindung erst merklich zu werden mit dem Schwellenwerthe, unterhalb dessen jene negativ ist. Oberhalb des Schwellenwerthes wächst die Empfindung zunächst schneller, dann langsamer als der Reiz. Es ergibt sich das aus dem Verhältniss von $\frac{E}{R}$ das zunächst zunimmt, bei 2.718 ein Maximum erreicht, um weiterhin abzunehmen. Zwischen den Reizwerthen 2 und 4 ist dieses Verhältniss nahezu dasselbe, innerhalb dieses Intervalles steigt die Empfindung also annähernd proportional dem Reize.

Während die graphische Darstellung mit den Reizwerthen als Abscissenachse nach Tabelle I eine Curve liefert, welche ihre Concavität der Abscissenachse zuwendet, ist dieser die Convexität zugewandt bei der Curve, welche mit den Empfindungen als Abscissenachse und den zugehörigen Reizwerthen als Ordinaten nach Tabelle II construiert wird und die mit zunehmendem Reize einen sehr steilen Verlauf nimmt. Denn während nach Tab. II der Reiz nur um 1.7183 über seinen Schwellenwerth 1 gesteigert werden muss, um die Empfindung von 0 bis 1 (der Empfindungseinheit) zu erheben, muss für Erhebung der Empfindung von 9 auf 10 der Reiz um 13923 wachsen.

Die dargelegten Beziehungen zwischen der Größe des Reizes und der Reaktion erklären im näheren, wie und warum der in den Samenfäden wirksame Richtungsreiz abnimmt, wenn diese in der Diffusionszone einer Capillare zu immer concentrirter Lösung vorrücken. In dieser werden dann die Samenfäden von der sie allseitig umgebenden Äpfelsäure in einen Reizzustand versetzt, vermöge dessen die absolute Concentrationsdifferenz der nächst anstoßenden concentrirteren Schicht der Diffusionszone einen geringeren Richtungsreiz ausübt, als es der gleiche absolute Concentrationsunterschied that, so lange die Samenfäden in verdünnter Lösung sich befanden. Vorgreifend (p. 376) ist schon auf dieses Verhältniss hingewiesen und mitgetheilt worden, wie die thatsächlichen Beobachtungen beim Einschwärmen in Capillaren mit diesen Folgerungen harmoniren.

Im näheren lehren die das Verhältniss zwischen Reiz (Concentration der Lösung) und Reaktion ausdrückenden Zahlenwerthe, dass und warum beim Eintritt in concentrirtere Lösung, trotz noch bestehender absoluter Concentrationsdifferenz, die richtende Reizwirkung der Äpfelsäure aufhört, dann nämlich, wenn dieser Concentrationsunterschied einen die Unterschiedschwelle der Empfindung erreichenden Reiz nicht ausübt. Ebenso ist leicht verständlich, warum die richtende Reizwirkung in einer Diffusionszone abnehmen muss, während diese sich ausbreitet. Denn da nach wie vor die Concentration der Äpfelsäure von der Capillare aus bis zu 0 abnimmt, der Abfall also allmählicher in ausgedehnterer Diffusionszone wird, ist für letztere der absolute Concentrationsunterschied für äquidistante Zonen geringer, in welche wir in beiden Fällen das Diffusionsgebiet zerlegt denken können. Mit Ausdehnung dieses wird also die absolute Steigerung der Concentration in der dem Samenfaden zunächst anstoßenden Flüssigkeitsschicht geringer, und damit auch der Richtungsreiz auf einen Samenfaden gegenüber einem solchen, der sich in der Zone gleicher Concentration in der zusammenge-drängten Diffusionszone befindet. Hiermit hängt zusammen, wie schon früher erörtert, dass die Präcision des Einschwärmens der Samenfäden in eine Capillare wieder gesteigert wird, wenn man die diese umgebende Flüssigkeit erneuert und somit Veranlassung zur Wiederherstellung einer noch weniger ausgebreiteten und damit steiler abfallenden Diffusionszone giebt.

Das WEBER'sche Gesetz war bis dahin nur für die zu unserem Bewusstsein kommenden Reize constatirt und die Thatsache, dass jenes auch die Beziehung zwischen Reiz und Reaktion eines anderen Organismus ausdrückt, ist eine wesentliche Erweiterung der Kenntnisse zur Beurtheilung des Ursprungs dieser Beziehungen. Denn so viel ist ja gewiss, dass wir die in dem WEBER'schen Gesetze ausgesprochene Relation nicht in dem letzten materiellen Akte der Kette suchen dürfen, durch welchen die Reize der Seele zugeleitet werden, zum Bewusstsein kommen. Denn wollte man dieses allgemein, so müsste auch in den Samenfäden der Farne ein psychischer Vorgang analoger Art angenommen und weiter gefordert werden, dass dieser wiederum in proportionalem Verhältniss die Aktion veranlasse, durch welche die Samenfäden sich nach der als Reiz wirkenden Äpfelsäure hinbewegen.

Auf Grund der Erfahrungen an Samenfäden wird man gewiss aber geneigt sein, auch hinsichtlich der Beziehung zwischen Reiz und Empfindung im Menschen, die Ursache der im WEBER'schen Gesetz ausgesprochenen Relation nicht in dem Übergang der Reizwirkungen zum Psychischen, sondern in einem physiologischen Vorgang zu finden. Diese Alternativen sind ohnehin noch streitig, denn während FECHNER¹⁾ der psychophysischen An-

1) In den früher citirten Schriften. Eine Übersicht der Differenzpunkte giebt FECHNER in Revision d. Hauptpunkte der Psychophysik 1882. p. 221.

sicht huldigt, vertreten G. E. MÜLLER ¹⁾ und Andere die physiologische Ansicht und immer ist die Entscheidung für eine dieser Ansichten, da schlagende Beweise fehlen, auf Abwägungen von Wahrscheinlichkeiten gegründet. FECHNER sieht in dem WEBER'schen Gesetz ein Grundgesetz allgemeiner Gültigkeit für die Beziehungen zwischen Nervenprozess und Seele, das der physiologischen Forschung somit, soweit es die psychische Funktion betrifft, entzogen ist. Nach der physiologischen Ansicht ist dagegen das WEBER'sche Gesetz ein Erfahrungssatz, dessen physiologische Ursachen in den Eigenschaften der in der Reizbewegung beteiligten Organe begründet sind. In diesen materiellen Prozessen sucht FECHNER eine Proportionalität mit dem Reize, um eben erst bei dem Übergang ins Psychische die im WEBER'schen Gesetze ausgesprochene Relation eintreten zu lassen.

Mit dieser allgemeinen Kennzeichnung der bisherigen Sachlage muss ich mich hier begnügen und für Näheres auf die citirten Schriften verweisen. Übrigens wird man es begreiflich finden, wenn ich die FECHNER'sche Bezeichnung »Psychophysisches Gesetz« vermeide, nachdem die diesem Gesetze zu Grunde liegende Relation für einen andern Organismus als gültig für die Beziehung zwischen Reiz und Richtungsbewegung erkannt ist.

Es drängt sich nun wieder die Frage auf, in welchem Gliede derjenigen Prozesse, welche Reiz und Reaktion verketteten, die im WEBER'schen Gesetze ausgesprochene Relation ihren Ursprung nimmt, oder ob diese als Resultante aus zwei oder einigen Variablen erzeugt wird. In dieser Hinsicht ist auch für die analogen Beziehungen unserer Empfindungen zur Reizgröße keine Einsicht gewonnen, obgleich die funktionelle Arbeitstheilung und die räumliche Trennung der im Prozess in Mitleidenschaft gezogenen Organe günstigere Bedingungen für den Verfolg des Vorganges in seinen einzelnen Stadien bieten.

Wie es im allgemeinen mit unserer Einsicht in die Kette von Prozessen steht, die von der unmittelbarsten Aktion der äußern Reizung ab bis zur endlichen Ausführung der Reaktion verlaufen, ist schon im Eingang dieses Kapitels angedeutet worden. Deutlich springt zunächst eine solche Kette von Prozessen auch für die Pflanzen dann in die Augen, wenn die reizbare Zone räumlich getrennt von der die endlich ausgelöste Reaktion ausführenden Zone liegt, denn dann wird ja jedenfalls in Folge des unmittelbaren Reizvorganges ein Impuls fortgesandt, welcher in einer mehr oder weniger fern gelegenen Partie zu den uns entgegentretenden Thätigkeiten Veranlassung giebt. Beispiele solcher Art bieten die Wurzeln, deren Spitze, durch Contact ²⁾ oder Schwerkraft ³⁾ gereizt, zu Krümmungen in der einige Millimeter rückwärts liegenden Zone Veranlassung giebt, ferner die Drüsenhaare des

1) G. E. MÜLLER, Zur Grundlegung d. Psychophysik 1878.

2) DARWIN, Bewegungsvermögen d. Pflanzen 1881. p. 132. Ich sehe diese Sensibilität der Spitze nicht als widerlegt an.

3) DARWIN, Ibid. p. 464. KRABBE, Bericht d. deutsch. Bot. Gesellsch. 1883. p. 226.

Blattes von *Drosera*, deren Köpfchen der sensible Theil ist, während die Reizkrümmung in tiefer liegenden Partien des Haares ausgeführt wird¹⁾. Eine Zusammenballung im Zellsaft der Drüsenhaare von *Drosera* geht gleichfalls von den reizbaren Köpfchen aus, schreitet das Haar hinab und weiter wird ein Impuls, in benachbarten Haaren aufsteigend, zu dem Drüsenköpfchen vermittelt, das, so gereizt, wieder eine von dem Drüsenköpfchen absteigende Zusammenballung im Zellsaft veranlasst²⁾. Hier haben wir also einen Vorgang, der einer Reflexbewegung zu vergleichen ist, also einer Bewegung, die durch einen Reiz verursacht wird, welcher durch ein Centralorgan, aber ohne psychologische Mitte, zu dem in Aktion tretenden Organe geleitet wird.

Fällt aber auch der Angriffspunkt des Reizes und der Aktion in dieselbe Zone, so ist selbst im denkbar einfachsten Falle doch der unmittelbarste Einwirkungserfolg des Reizes und der an diesen anschließende, die mechanische Aktion vermittelnde Vorgang zu unterscheiden. Die Verkettung beider wird aber gewiss oft nicht so einfach sein, und selbst in der einzelnen Zelle, die ja ein gegliederter Organismus ist, könnten sehr wohl räumlich getrennt einige der Prozesse verlaufen, welche Reiz und ausgelöste Aktion verbinden.

Wie in den meisten Fällen ermangeln wir zur Zeit jeder Kenntniss über den Reiz und Aktion verkettenden Prozess in den Samenfäden, ja wir wissen nicht einmal, ob der ganze Organismus oder vielleicht nur die Cilien die gegen Äpfelsäure sensiblen Organe sind. So lässt sich denn auch schlechterdings nicht beurtheilen, in welchem Vorgang oder in welchen Vorgängen die im WEBER'schen Gesetz ausgesprochene Relation ihren Ursprung nimmt. Diese könnte ebenso gut in der unmittelbarsten Reizwirkung liegen, als in einem spätern Gliede des ausgelösten Prozesses, und wir können nicht einmal sagen, dass Leitungswiderstände im Organismus als mitspielende Faktoren in den Samenfäden ausgeschlossen sind. Differenzirter Nerven, das lehren uns aber die Samenfäden, bedarf es nicht nothwendig, um das Verhältniss zwischen Reiz und Empfindung so zu gestalten, wie es das WEBER'sche Gesetz ausdrückt.

Ob das WEBER'sche Gesetz auch für das Verhältniss zwischen Reiz und Empfindung in anderen Reizungsvorgängen gültig ist, lässt sich aus den vorliegenden Untersuchungen an Pflanzen nicht sicher entscheiden und es ist mir auch nicht bekannt, dass mit niederen Thieren diese Frage einer Prüfung unterzogen wurde. Ich möchte aber glauben, dass in Pflanzen die Relation zwischen Reiz und Empfindung zwar vielfach, jedoch nicht allgemein dem WEBER'schen Gesetz entspricht.

Nach später mitzutheilenden Erfahrungen dürfte das WEBER'sche Gesetz in den locomotorischen Reizbewegungen Gültigkeit haben, zu welchen Sa-

1) DARWIN, Insektenfressende Pflanzen 1876. p. 208.

2) Vgl. die Literatur in PFEFFER, Pflanzenphysiol. Bd. 2. p. 248.

menfäden der Laubmoose durch Rohrzucker, sowie Bakterien durch Nährlösung veranlasst werden.

Dagegen scheint die Athmung¹⁾ proportional der Temperatur zu steigen und dieses trifft auch für die Kohlensäurezersetzung in Pflanzen zu²⁾. Im letzterem Falle könnte man freilich einwenden, dass hier das Licht mechanisch arbeitend in den Prozess selbst eingreift, und bei der Zunahme der Athmung mit der Wärme ist zu bedenken, dass es sich bei der Temperatursteigerung um Veränderungen eines alle Lebensthätigkeiten und somit auch die Athmung beeinflussenden Agens handelt. Allein wie dem auch sei, zur Zeit wissen wir nicht, ob vielleicht in bestimmten Kategorien von Reizen sich das Verhältniss zwischen Reizen und Aktion different gestaltet, und wir sind nicht berechtigt, in dieser Hinsicht von einem Fall auf einen andern zu schließen³⁾.

In den heliotropischen und phototaktischen Bewegungen⁴⁾ scheint die Empfindlichkeit gegen Lichtunterschiede nach den mir zu Gebote stehenden, noch unzureichenden Erfahrungen dem WEBER'schen Gesetze sich anzuschließen. Für geotropische Krümmungen zeigt die Erfahrung wenigstens, dass die Reizwirkung langsamer steigt, als die auslösende Centrifugalkraft⁵⁾. Dieses Verhältniss lassen dem allgemeinen Eindruck nach die Contactreize auf Ranken, auf Wurzelspitzen, auf Drüsenhaare von *Drosera* vermuthen, ebenso die letztere in Bewegung setzenden chemischen Reize. Entscheidende Versuche fehlen mir und aus der Literatur ist nichts zu entnehmen.

Natürlich habe ich hier immer nur Reizvorgänge unterhalb des Maximums im Auge gehabt, mit dessen Erreichung die bisherige Relation zwischen Reiz und Reizwirkung sich in allen Fällen ändern muss. Eine Reizhöhe, über die hinaus weitere Steigerung des Reizes die Thätigkeit nicht erhöht, ergiebt sich als physiologische Nothwendigkeit, denn jede Thätigkeit des Organismus kann nur bis zu einer gewissen endlichen Intensität getrieben werden. Freilich ist denkbar, dass diese bei der größten überhaupt möglichen Reizsteigerung noch nicht erreicht ist, was z. B. bei dem durch die Feuchtigkeitsdifferenz der Luft bedingten Hydrotropismus vielleicht zutreffen könnte. In den meisten Funktionen wird die Abhängigkeit von äußeren Verhältnissen durch eine Curve dargestellt, die nach Erreichung

1) Die bezügliche Literatur vgl. PFEFFER, Pflanzenphysiol. Bd. 1. p. 375.

2) REINKE, Bot. Ztg. 1883. p. 716. Andere Beobachtungen PFEFFER, l. c. p. 208.

3) Es gilt dieses auch für die mit dem Reiz proportionale Steigerung der Muskelzuckung, die als Argument verwandt wurde, um Proportionalität zwischen Reiz und Nervenprozess wahrscheinlich zu machen. Vgl. WUNDT, Grundzüge d. physiol. Psychologie 1874. p. 284.

4) Aus WIESNER's Arbeit, Die heliotr. Erscheinungen 1878. Bd. 1. p. 37 ist hinsichtlich des Heliotropismus nichts bestimmtes in unserer Frage zu entnehmen. Ebenso nicht für Schwärmsporen aus STRASBURGER's mehrfach citirter Arbeit.

5) PFEFFER, Pflanzenphysiol. Bd. 2. p. 334.

eines Höhepunktes, dem Optimum der Pflanzenphysiologie, wieder abfällt¹⁾. Diese Beziehungen können wir aber nicht mit SACHS²⁾ als ein fundamentales Gesetz der Physiologie ansprechen, da thatsächlich die Kohlensäurezersetzung und wahrscheinlich auch die Abhängigkeit der Athmung von der Temperatur einen Abfall der Curve, nach Erreichung des Maximums, nicht bieten³⁾, empirische Erfahrungen aber um so mehr allein entscheiden können, als ein solches Optimum nicht als eine physiologische Nothwendigkeit postulirt werden kann.

Werfen wir nun noch einen Rückblick auf die wesentlichsten, für die Samenfäden der Farne erhaltenen Resultate. Als spezifisches Reizmittel dieser lernten wir die Äpfelsäure kennen, welche in schon sehr kleiner Menge eine locomotorische Richtungsbewegung, aber nur durch Concentrationsdifferenz veranlasst, also durch einen einseitig bevorzugten Angriff, welcher die Reizursache auch im Geotropismus, Heliotropismus, Hydrotropismus, gewissen Contactreizen u. s. w. ist.

Aber auch in homogener Lösung von Äpfelsäure, in welcher die Samenfäden wie in Wasser nach allen Richtungen hin sich bewegen, versetzt jener Stoff die Spermatozoiden in einen Reizzustand, der zwar ihre Lebensdauer nicht beeinflusst, sich aber in ihrer Reaktionsfähigkeit kund giebt, nämlich darin, dass sie nun erst auf eine absolut höhere Concentrationsdifferenz der Äpfelsäure reagiren. Und zwar entspricht dieses Verhältniss zwischen Größe des Reizes und der Reaktion dem WEBER'schen Gesetze, d. h. um eine Reizwirkung zu erzielen, muss der schon bestehende Reiz immer um eine gleiche relative Größe gesteigert werden. Es gilt dieses aber naturgemäß nur, so lange die Äpfelsäure eine gewisse maximale Concentration nicht überschreitet.

Der Reizerfolg besteht darin, dass die Hauptachse des Samenfadens in bestimmter Weise gerichtet wird und dieser demgemäß durch seine ohnehin thätige Bewegung einem bestimmten Ziele zusteuert, ohne dass seine fortschreitende Bewegung merklich beschleunigt wird (p. 374). Durch die Reizwirkung wird stets der Samenfaden so gerichtet, dass sein in der Bewegung voraus gehendes vorderes Ende nach der concentrirteren Äpfelsäure hinschaut, nach der hin also der Samenfaden steuert. Nach dieser Achsenrichtung, durch welche die Gleichgewichtslage gegenüber dem Richtungsreize der Äpfelsäure erreicht ist, fällt also die Achse des Samenfadens

1) Thatsächliches z. B. in meiner Pflanzenphysiologie Bd. 2. p. 119, 335, 368, 385 u. s. w. Neuere über ein Optimum der Partiärpressung des O liefern die mehrfach citirten Arbeiten von ENGELMANN; ferner WIELER, Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen 1883. p. 189.

2) Vorlesungen über Pflanzenphysiol. 1882. p. 233.

3) Ich sehe hier natürlich ab von dem Stillstand der Thätigkeit mit erreichter Tödtung.

mit der Diffusionsrichtung zusammen und steht senkrecht auf den Curven gleicher Concentration in der Diffusionszone. In dieser Gleichgewichtslage befindet sich das vordere Ende des Samenfadens in der concentrirtesten, das hintere Ende in der verdünntesten Äpfelsäure, während in einem zur Hauptachse senkrechten Querschnitt der Samenfaden von Äpfelsäure gleicher Concentration umgeben ist. Wird also der Samenfaden aus dieser Lage verschoben, so tritt eine Reizwirkung ein, welche ihn in die Gleichgewichtslage zurückführt.

Während der Ausführung solcher Reizstellungen bewahrt der schraubenzieherförmige Körper des Samenfadens unverändert seine Gestalt und es muss also die Wendung durch eine entsprechend modificirte Thätigkeit der Wimpern ausgeführt werden, die ja überhaupt alle Bewegung bewirken (p. 374). Versuche, in denen ich festhängende Samenfäden durch einseitigen Zutritt von Äpfelsäure reizte, um zu sehen, ob dann etwa an den Wimpern eine Änderung in Richtung oder Thätigkeit zu bemerken sei, führten zu keinem entscheidenden Resultat.

Eine tiefere Einsicht in den Reizungsvorgang ist noch nicht gewonnen und es muss auch unentschieden bleiben, ob der ganze Samenfaden oder ob einzelne Theile dieses gegen Äpfelsäure sensibel sind. Da die Wimpern die Organe sind, welche die Reizbewegung ausführen, so wird damit nahe gelegt, aber nicht erwiesen der Gedanke, die Wimpern dürften auch die sensiblen Organe sein, und das gewinnt etwas an Wahrscheinlichkeit dadurch, dass die Wimpern in der That durch Contact reizbar sind.

Ganz unentschieden ist auch noch, wie und warum die Äpfelsäure eine spezifische Reizwirkung ausübt. Sichtbare Vorgänge im Samenfaden als Folge der Reizwirkung von Äpfelsäure waren nicht aufzufinden, und so ist auch nicht erwiesen, ob, was ja wahrscheinlich ist, Äpfelsäure in den Körper des Samenfadens aufgenommen wird, oder nur im Contact mit diesem durch eine spezifische moleculare Wirkung reizend wirkt. Übrigens ist die Äpfelsäure ein spezifisches Reizmittel der Samenfäden der Farne, während andere Samenfäden sich indifferent gegen Äpfelsäure verhalten. Damit ist auch gezeigt, dass die Äpfelsäure kein allgemeines Reizmittel des Protoplasmaorganismus ist, und es mag nur beiläufig bemerkt werden, dass keine Änderung der Strömungsbewegung und überhaupt in dem Protoplasma der Staubfadenhaare von *Tradescantia virginica* zu bemerken war, als das umgebende Wasser durch eine Flüssigkeit ersetzt wurde, welche 0.4 Proz. Äpfelsäure als Natronsalz enthielt.

6. Methodisches.

Nachdem die Wirkung der Äpfelsäure auf Samenfäden der Farne dargelegt wurde, ist es endlich auch am Platze, den methodischen Gang der Untersuchung zu zeigen, der mich jenen Körper als spezifisches Reizmittel

der Samenfäden kennen lehrte. Bei dieser Gelegenheit werden wir auch die geprüften, als indifferent befundenen Stoffe namhaft machen.

Die anziehende Wirkung des aus dem Archegonium der Farne entleerten Schleimes veranlasste mich, zunächst zu prüfen, ob die Samenfäden auch von dem austretenden Inhalt anderer Pflanzenzellen angezogen werden. Ich nahm zu dem Ende Brennhaare von *Urtica dioica* und schob sie zu schwärmenden Samenfäden, nachdem die Spitze des Haares soeben gekappt war. Sofort eilten die Samenfäden massenhaft nach dem austretenden Inhalt, der indess, dauernd hervorquellend und die Mündung verstopfend, ein Eindringen in das Innere des Haares der Regel nach nicht gestattete. Solches Eindringen trat indess reichlichst ein, als ich größere Haare des Blattes von *Heracleum sphondylium* nach dem Abschneiden der Spitze zu Samenfäden brachte. Die Samenfäden schwärmten in dieses einzellige Haar in ähnlicher Weise, wie es für die mit Äpfelsäurelösung gefüllte Glascapillare beschrieben wurde, und ich sah wohl über 300 Samenfäden sich im Haare ansammeln. Sperrten im Innern des Haares aus dem Protoplasma entstandene Vacuolen das weitere Vordringen, so prallten die Samenfäden gegen diese immer und immer wieder an und einmal sah ich, wie bei solchem Anprall der Samenfäden den schon ganz dünn gewordenen Plasma-beleg um die Vacuole durchbrach.

Auch die Haare von *Reseda odorata* und *Heliotropium peruvianum* bewirkten eine mehr oder weniger energische Anziehung von Samenfäden. Ebenso wurden Schnitte aus dem Stengel von *Momordica elaterium* und einiger andern Pflanzen zum Anziehungscentrum für Spermatozoiden.

Schon hiernach durfte ich schließen, dass das anziehende Agens, dem lebenden Protoplasma entrissen, noch fortbesteht, und ich fand dieses noch durch den positiven Erfolg bestätigt, als ich den aus zerstampften Blättern und Stengeln von *Momordica elaterium* ausgepressten Saft in eine Glascapillare füllte und nun in diese Samenfäden in Menge einschwärmen sah.

Indem ich darauf die anziehende Wirkung des in eine Glascapillare gefüllten Decocts von *Momordica* constatirte, gewann ich die Gewissheit, dass ein durch Kochen nicht zerstörbarer Stoff als Reizmittel auf die Samenfäden wirken müsse. Weiter erfuhr ich, dass es sich hier um einen im Pflanzenreich sehr verbreiteten Stoff oder ein sehr verbreitetes Stoffgemisch handeln müsse, da die gleiche anziehende Wirkung Decocten verschiedener Pflanzen zukam, so den Abkochungen von Grasblättern, Georginenknollen, Kohlrabi, Wurzeln der Rothtanne.

Abdampfen des Grasdecoctes belehrte mich durch die unveränderte Wirksamkeit des aufgelösten Extractes, dass die wirksame Materie nicht flüchtig war, und dem entsprechend verhielten sich auch die Samenfäden indifferent gegen das mit Hilfe von Wasserdämpfen aus Grasblättern gewonnene Destillat. Ferner musste die wirksame Materie organischer Natur sein, da die Asche von Grasextract nach Neutralisiren mit Salpetersäure

keine Reizwirkung auf die Samenfäden ausübte, auch nicht, wenn noch etwas Ammoniumnitrat zugesetzt wurde.

Durch meine nächsten Versuche suchte ich nun Gewissheit zu erlangen, ob die Reizung durch ein Stoffgemisch oder einen einzelnen Stoff bewirkt werde. Nachdem sich gezeigt, dass sowohl der alkoholische Auszug des Grasextractes, als auch der in Alcohol ungelöste Rest, nicht aber der ätherische Auszug jenes anziehend auf die Samenfäden wirkte, betrat ich noch einen anderen Weg zur Erhellung der obigen Frage. Grasdecoct wurde, um Phosphate u. s. w. zu entfernen, mit einem Überschuss von Barytwasser gefällt und nach Entfernung des Bariumhydroxyds durch Einleiten von Kohlensäure und darauf folgendem Aufkochen die Wirksamkeit des Filtrates constatirt. Dieses wurde nach Einengung auf kleineres Volumen mit Bleiacetat gefällt, der so erhaltene Niederschlag mit Schwefelwasserstoff zersetzt und die gewonnene saure Lösung mit Calciumcarbonat neutralisirt. Diese Lösung erwies sich als ein sehr wirksames Reizmittel auf die Samenfäden, welche freilich auch noch vom Filtrate des Bleiniederschlags angezogen wurden, doch viel schwächer, wie vergleichende Versuche nach Verdünnung beider Flüssigkeiten auf gleiches Volumen ergaben.

Jedenfalls war hiernach die Reizwirkung nicht an ein bestimmtes Stoffgemisch gekettet, und ließ sich auch noch nicht sagen, ob nur ein einzelner oder einige Stoffe spezifische Reize auf Samenfäden ausübten, so war es doch aus verschiedenen Erwägungen höchst wahrscheinlich, dass es sich nur um einen einzelnen Stoff drehe, der durch Bleiacetat nicht absolut ausgefällt war. Diese Auffassung wurde noch wahrscheinlicher dadurch, dass die aus dem Bleiniederschlag gewonnene Masse noch in ungeheurer Verdünnung Samenfäden in die Capillare lockte.

Anstatt die weitere Isolirung dieses Körpers aus Pflanzen zu versuchen, schien es einfacher, nunmehr zu prüfen, ob nicht in Stoffgemischen bekannter Zusammensetzung sich das Reizmittel der Samenfäden fände. Da ich diesen Weg mit Erfolg einschlug, so unterlasse ich hier darzulegen, auf welche verbreiteten Pflanzenstoffe sich nach den oben mitgetheilten Erfahrungen die Aufmerksamkeit wenden musste und dass unter diesen auch Äpfelsäure in Betracht kam.

Zunächst stellte ich Gemische her, in denen in erster Linie verbreitetere Pflanzenstoffe berücksichtigt waren, um dann, sollte sich das Gemisch als wirksam erweisen, das Reizmittel näher zu ermitteln.

Gemisch I enthielt je 0.05 bis 0.15 Proz. von folgenden organischen Säuren, und zwar in der Form von Kali, Ammoniak oder Natronsalzen: Oxalsäure, Weinsäure, Citronensäure, Ameisensäure, Bernsteinsäure, Valeriansäure, Milchsäure, Äpfelsäure, Buttersäure, Capronsäure, Propionsäure, Essigsäure.

In Gemisch II befanden sich je 0.2 bis 0.5 Proz. folgender Kohlehydrate:

Rohrzucker, Traubenzucker, Fruchtzucker, arabisches Gummi, Dextrin, Dulcit, Inosit, Glycogen, Mannit, Milchzucker.

Gemisch III enthielt von folgenden Körpern je 0.2 bis 0.6 Proz.: Asparagin, Leucin, Tyrosin, Alanin, Glutaminsäure, Glycolsäure.

Bei Anwendung von Gemisch I schwärmten die Samenfäden sogleich massenhaft in die Capillare, während sich dieselben vollständig indifferent gegen die Gemische II und III verhielten. Bei Einzelprüfung der in Gemisch I vereinigten Körper erwies sich allein die Äpfelsäure wirksam und dem entsprechend wirkte auf Samenfäden gar nicht ein Gemisch, das mit denselben Stoffen wie I, jedoch unter Weglassung der Äpfelsäure, dargestellt war.

Die Äpfelsäure war somit als ein spezifisches Reizmittel der Samenfäden der Farne erkannt. Da die Äpfelsäure jedenfalls eine der verbreitetsten Säuren im Pflanzenreiche ist¹⁾, kann es nicht wunder nehmen, dass die Decocte der verschiedensten Pflanzen anziehend auf Samenfäden wirkten.

In der Folgezeit habe ich nur noch die bei der trockenen Destillation der Äpfelsäure entstehende Maleinsäure, welche soweit bekannt im Pflanzenreich nicht vorkommt, als ein Reizmittel der Samenfäden kennen gelernt. Ein solches ist aber nicht die gleichfalls beim Erhitzen der Äpfelsäure entstehende Fumarsäure, und indifferent fand ich auch Asparagin, das Amid der Äpfelsäure, sowie die Asparaginsäure. Diese Erfahrungen genügen, um zu zeigen, dass wenigstens verwandte chemische Struktur nicht schlechthin es bedingt, dass ein Körper ein der Äpfelsäure analoges Reizmittel ist. Wie sich die Ester und andere Derivate der Äpfelsäure verhalten, habe ich nicht geprüft, da mir zu dieser Frage von geringerem physiologischen Interesse das Material nicht zur Verfügung stand. Auch konnte ich nicht entscheiden, ob die auf verschiedene Weise entstehende, optisch inaktive Äpfelsäure²⁾ als Reizmittel auf die Samenfäden wirkt. Die aus Asparagin künstlich dargestellte, optisch aktive Äpfelsäure verhielt sich ebenso wie die natürlich vorkommende Äpfelsäure.

Es ist natürlich nicht ausgeschlossen, dass noch irgend ein anderer Stoff als Reizmittel der Samenfäden von Farnkräutern erkannt wird, doch verhalten sich wenigstens die übrigen verbreiteten Pflanzenstoffe indifferent. Es ergibt sich dieses aus den Erfahrungen mit den schon genannten Mischungen und aus der Prüfung der jetzt noch zu nennenden Stoffe, unter denen übrigens auch solche sich finden, die im Pflanzenreich vereinzelt oder vielleicht gar nicht vorkommen. Folgende Körper übten sämtlich nicht die geringste anziehende Wirkung auf Samenfäden der Farne aus: Hühnereiweiß; mit etwas Natronphosphat gelöstes Legumin; Gelatine;

1) Vgl. HUSEMANN, Die Pflanzenstoffe 1882. 2. Aufl. p. 195.

2) Vgl. z. B. BEILSTEIN, Handbuch d. organ. Chemie 1881. p. 614.

Pepton für sich und im Vereine mit Zucker und anorganischer Nährlösung; Diastase; Pepsin; Traubensäure; Asparaginsäure; Aconitsäure; Gerbsäure; Glycyrrhizin; Salicin; Äsculin; Berberin; Trimethylamin; Wasser, das mit Campher, Anisöl und Citronenöl geschüttelt war; endlich Fleischextrakt, welches von organischen Stoffen u. a. enthält Kreatin, Kreatinin, Sarkin, Xanthin, Carnin, Inosinsäure, Fleischmilchsäure.

Wo immer Pflanzentheile eine Anziehung auf Samenfäden der Farne ausüben, dürfen wir also mit einer an Gewissheit grenzenden Wahrscheinlichkeit auf die Existenz von Äpfelsäure schließen und so lässt sich diese Reizwirkung als Reagens auf Äpfelsäure verwenden. Unter Umständen lässt sich sogar eine annähernde quantitative Bestimmung der Äpfelsäure erreichen, indem man eine Flüssigkeit so weit verdünnt, dass eine eben merkliche Anziehung besteht, was, sofern keine Störungen eingreifen, für die von mir verwandten Samenfäden bei einem Gehalt von 0.004 Proz. Äpfelsäure erreicht ist, gleichviel ob diese im freien Zustand oder als Salz vorhanden ist. Nach dieser Methode geprüft, würde ein von mir dargestelltes getrocknetes Grasextrakt 0.4 Proz. seines Gewichtes an Äpfelsäure enthalten, da die Reizschwelle eben überschritten war, als in der Capillarflüssigkeit 0.25 Proz. dieses Grasextraktes gelöst enthalten waren. In diesem Falle dürfte aber in der Capillarflüssigkeit eher etwas mehr als 0.004 Proz. Äpfelsäure vorhanden gewesen sein, da bei dieser Concentration wohl schon eine geringe abstoßende Wirkung durch die übrigen Stoffe im Grasextrakt erzielt werden mag.

Annähernd lässt sich auch der Äpfelsäuregehalt in der aus verletzten Pflanzenzellen u. s. w. austretenden Flüssigkeit ermitteln, indem man bestimmt, welchen Gehalt an Äpfelsäure das umgebende Medium haben muss, damit eben noch merkliche Anziehung auf Samenfäden der Farne stattfindet, und beachtet, dass dieses in den Versuchen mit Glascapillaren erreicht war, wenn deren Inhalt 30 mal mehr Äpfelsäure enthielt, als die Außenflüssigkeit. Von dieser auf die Unterschiedsschwelle des Reizes basirten Methode ist in folgendem Abschnitt Gebrauch gemacht, um den Gehalt an Äpfelsäure im Halskanal des Archegoniums zu ermitteln.

Die Äpfelsäure in Pflanzentheilen wird durch die mehr oder weniger auffällige Anziehung auf Samenfäden bemerklich, welche aber nur verletzte Zellen ausüben, da die Äpfelsäure aus lebenden Zellen nicht diosmirt. Ich habe mich hiervon an Fäden von *Spirogyra* überzeugt, sowie an Haaren von *Urtica dioica*, die nach sorgfältigem Auswaschen des anhängenden, durch den Schnitt verletzten Gewebes benutzt wurden. Um diese Objekte schwärmten dann die Samenfäden ganz indifferent, wurden aber sofort angezogen, sobald die Zelle geknickt oder durch Einschneiden verletzt war. Hiermit ist zugleich die Methode gekennzeichnet, die ich zum Nachweis der Äpfelsäure in Pflanzen anwandte. Haare, Algenfäden u. s. w. behandelte ich in der eben beschriebenen Weise, aus Geweben nahm ich nicht

zu dünne Schnitte, brachte diese nach gutem Auswaschen zu den Samenfäden, stellte dann durch Einschneiden senkrecht zur Schnittfläche einen Spalt in dem Gewebe her, legte sofort ein Deckglas auf und beobachtete den Erfolg. Die angezogenen Samenfäden steuern dann zwar nach dem ganzen Schnitte, vornehmlich aber nach dem Spalt, in welchem sich die aus den verletzten Zellen hervorgetretene Flüssigkeit anhäuft, um weiter zu diffundiren.

Außer in den schon genannten Pflanzen (p. 410) fand ich auf diesem Wege in allen geprüften Pflanzen und Pflanzentheilen Äpfelsäure, und zwar war die Anziehung auf Samenfäden je nach dem Objekte sehr verschieden stark, doch unzweifelhaft, bis auf *Vaucheria terrestris*, deren austretender Zellinhalt eine so schwache Anziehung ausübte, dass ich von der Existenz dieser erst nach wiederholter Untersuchung überzeugt wurde. In dieser Pflanze ist also die Äpfelsäure in einer den Schwellenwerth des Reizes nicht wesentlich übersteigenden Concentration enthalten, während sie zu meist reichlicher sich findet und vielfach, wie in den Haaren von *Urtica*, der intensiven Anziehung nach, in ziemlicher Menge vorhanden ist.

Geprüft auf Äpfelsäure wurden in der besagten Weise überhaupt folgende Pflanzen: Blätter und Stengel von *Momordica elaterium*, *Urtica dioica*, *Elodea canadensis*, *Dactylis glomerata*, und der Keimpflanzen von *Vicia faba*, *Pisum sativum*, *Helianthus annuus*; Kohlrabi, Georginenknollen, Wurzeln der Rothtanne und der Keimpflanzen von *Vicia faba* und *Helianthus annuus*; Haare von *Urtica dioica*, *Heracleum sphondylium*, *Reseda odorata*, *Heliotropium peruvianum*; Wurzelhaare von *Trianea bogotensis*; Blätter und Stengel von *Aspidium filix mas*, sowie Prothallien von verschiedenen Farnen; Blätter und Stengel von *Funaria hygrometrica* und *Hypnum purum*; *Chara fragilis*; *Spirogyra* sp.; *Cladophora* sp.; *Vaucheria terrestris*; *Penicillium glaucum* und *Agaricus campestris*, die beide nur wenig Äpfelsäure enthalten.

Übereinstimmend mit den makrochemischen Erfahrungen lernen wir also die Äpfelsäure als ein ganz allgemein verbreitetes Produkt des vegetabilischen Stoffwechsels kennen, das sich in ungleicher Menge in verschiedenen Pflanzen bildet. Mit Hilfe unseres physiologischen Reagens lässt sich dann noch näher nachweisen, dass die Äpfelsäure in allen Organen der Pflanze enthalten ist. In *Elodea canadensis*, sowie in Keimpflanzen von *Vicia faba* fand ich Äpfelsäure sowohl in älteren Stengel- und Wurzeltheilen, als auch, anscheinend ebenso reichlich, in Schnitten aus dem Vegetationspunkt des Stengels und der Wurzel, sowie in eben erst angelegten Blättern. Ebenso enthalten bei *Cladophora* Scheitelzelle und ältere Gliedzellen des Fadens Äpfelsäure.

7. Einschwärmen der Samenfäden in das Archegonium.

HOFMEISTER¹⁾ constatirte das Eindringen der Samenfäden in das geöffnete Archegonium und in die Eizelle, ohne indess die anziehende Wirkung zu entdecken, welche der aus dem geöffneten Archegonium entleerte Schleim auf die Samenfäden der Farne ausübt. Diese Anziehungswirkung stellte STRASBURGER²⁾ fest, welcher auch im näheren das Eindringen der Samenfäden in den Hals des Archegoniums und in die Eizelle verfolgte. Den thatsächlichen Beobachtungen dieses Forschers habe ich nichts von Bedeutung hinzuzufügen und meine Aufgabe besteht hier darin, auf Grund der mitgetheilten Untersuchungen dieses Phänomen in causaler Hinsicht zu beleuchten.

Meine eigenen Beobachtungen stellte ich mit Prothallien von *Ceratopteris thalictroides*, *Pteris serrulata* und *Adiantum capillus veneris* an, von denen die beiden zuerst genannten Pflanzen auch STRASBURGER als Untersuchungsobjekte dienten. Wie schon dieser bemerkt, ist bei *Pteris* (ebenso bei *Adiantum*) das Einschwärmen in den Hals des Archegoniums besser zu sehen, während die Prothallien von *Ceratopteris*, der Stellung der Archegonien und ihrer Durchsichtigkeit halber, besser gestatten, das Eindringen der Samenfäden in die Eizelle, und zwar ohne eine Verletzung des Prothalliums, zu verfolgen.

Da es mir nicht darauf ankam, die Eizelle nach geschehener Befruchtung sich fortentwickeln zu lassen, verfolgte ich das Einschwärmen der Samenfäden in den Halskanal entweder an Prothallien, die längs der Mittelrippe so gefaltet und unter Deckglas gebracht waren, dass der Hals eines geeigneten Archegoniums frei in der Gesichtsfeldebene lag, oder an Längsschnitten des Prothalliums, in welchen die Archegonien in gleicher Lage gesehen wurden. In beiden Fällen mussten die Objekte zunächst mit Wasser gut ausgewaschen werden, um die Äpfelsäure aus verletzten Zellen zu entfernen. Handelte es sich darum, Samenfäden desselben Prothalliums fern zu halten, so verwandte ich Schnitte, an denen allenfalls ansitzende Antheridien entfernt wurden. Nach dem Zulegen Antheridien tragender Prothallien anderer Farnkräuter lässt sich dann das Verhalten dieser Samenfäden gegen das sich öffnende Archegonium verfolgen.

Genügend entwickelte Archegonien öffnen sich in Wasser gebracht

1) Beiträge zur Kenntniss d. Gefäßkryptogamen in Abhandlg. d. Sächs. Ges. d. Wissenschaften 1857. B. 5. p. 605.

2) Jahrb. f. wiss. Bot. 1869—70. Bd. 7. p. 390. — MERCKLIN (Beobachtungen a. d. Prothallium der Farnkräuter 1850. p. 45) beobachtete wohl schon die Anziehung der Samenfäden durch geöffnete Archegonien und vereinzelt auch das Eindringen in diese, doch sind seine Beobachtungen mangelhaft und gewähren keine Garantie, dass nicht Irrthümer unterliefen. Nachweislich auf Täuschung beruht LESZCZYC-SUMIŃSKI's Angabe über das Eindringen der Samenfäden, denn nach der Annahme dieses Forschers müssten die Samenfäden schon in noch unentwickelte Archegonien eindringen. (Zur Entwicklungsgeschichte der Farnkräuter 1848. p. 13.)

nach 10 bis 30 Minuten und man sieht es bei einiger Übung dem Objekte an, ob man auf Öffnen nach einiger Zeit zu rechnen hat. Indem ich im näheren auf Beschreibung und Abbildungen STRASBURGER's verweise, bemerke ich hier, dass endlich der Scheitel des Archegoniums aufreißt und ein Theil des trüben körnigen Inhaltes plötzlich mit einer gewissen Gewalt hervorschießt. Solche kleine Eruptionen können sich nach einiger Zeit noch ein oder zweimal wiederholen oder es quillt in der Folge gleichmäßiger und allmählich der Schleim hervor, der, außer der protoplasmatischen trüben Masse, aus einem zähen, quellenden, durchsichtigeren Schleime besteht, welcher durch Quellung der Wandungen des Halskanals seinen Ursprung nahm¹⁾. Dieser zähflüssige Schleim bleibt um die Mündung des Archegoniums (wenigstens bei *Pteris* und *Adiantum*) liegen, quillt allmählich noch weiter auf, löst sich indess zum guten Theil nicht, so dass noch nach Stunden schleimige Masse um die Öffnung des Archegoniums zu finden ist. Der körnige protoplasmatische Inhalt wird vakuolig und allmählich noch weiter desorganisirt.

Während an dem ungeöffneten Archegonium die Samenfäden indifferent vorbeischwammen, werden dieselben nach dem Öffnen in der Weise angezogen, wie es STRASBURGER beschrieben hat und wie es sich auch abspielt, wenn man zu den Samenfäden eine Glascapillare bringt, welche ziemlich dickflüssigen Traganthschleim und Äpfelsäure enthält. Die von ihrer Bahn abgelenkten Samenfäden steuern gegen den Schleim, umspielen diesen zum Theil erst kurze Zeit, eilen wohl auch einmal ganz fort, dringen aber zum guten Theil in den Schleim ein, der, nach der starken Verlangsamung der Bewegung zu schließen, recht zähflüssig sein muss.

So wenig wie beim Eindringen in eine Capillare ist das Verhalten aller Samenfäden beim Eindringen in das Archegonium identisch. Im allgemeinen geht aber ihr Streben nach der Öffnung des Archegoniums, in das sie eindringen, während sich ihr Körper zu steiler Spirale auszieht. Meist schon kurz zuvor oder auch erst im Augenblicke des Eindringens wird die am hinteren Ende mitgeführte Blase abgestreift, die somit nicht in die Eizelle gelangt²⁾. Durch den schleimigen Inhalt des Halskanals sich durcharbeitend, gelangt dann der Samenfaden in den Bauch des Archegoniums, in welchem die abgerundete Eizelle genügenden Raum für etwas freiere Bewegung lässt. In der That ziehen sich die Windungen wieder zusammen und der auf seine frühere Gestalt zurückgekehrte Samenfaden zeigt zugleich durch seine lebhafteren Bewegungen an, dass die Eizelle von einer weniger schleimigen Flüssigkeit umgeben ist.

Auf solche Weise gelangen mehr und mehr Samenfäden in den Hals

1) Vgl. JANCZEWSKI, Bot. Ztg. 1872. p. 418.

2) STRASBURGER hat auf Grund dieser Beobachtung die irrige Annahme von ROZE widerlegt, welcher diese Blase als den Träger des Befruchtungsstoffes ansehen wollte. Dass die Blase vermuthlich Reservestoffbehälter ist, wurde früher (p. 370) besprochen.

des Archegoniums, eine gewisse Zahl dringt bis in die Eizelle vor, andere bleiben im Halse des Archegoniums stecken, und indem das Nachdringen fort dauert, kann es dahin kommen, dass nicht nur im Kanal zahlreiche Spermatozoiden sich befinden, sondern dass auch noch ein ganzer Strauß derselben aus der Öffnung hervorragt, indem immer neue zwischen die schon eingekeilten Samenfäden sich schieben. Diese schon von STRASBURGER beschriebene Anhäufung habe ich oft bei *Pteris* und *Adiantum* eintreten sehen.

Nicht selten kommen aber auch einzelne Samenfäden, rückwärts sich bewegend, wieder aus dem Archegonium heraus. In dem Schleim vor diesem oder in dem umgebenden Wasser nehmen dann diese zum Theil ihre ursprüngliche Körperform wieder an, andere aber bleiben langgestreckt und gehen so zu Grunde. Letzteres thun, wie früher bemerkt (p. 394), augenscheinlich namentlich Samenfäden, welche ihrem Lebensende näher stehen.

Von weiteren Einzelheiten sehe ich ab und erwähne hier noch, dass sich im wesentlichen ähnlich, wie bei Verwendung einer Glascapillare mit Äpfelsäure, die Anziehungssphäre um das Archegonium allmählich erweitert. Dabei wird die Präcision des Einschwärmens geringer, kann aber kürzere Zeit nach Öffnen des Archegoniums durch Auswaschen mit Wasser wieder erhöht werden.

Die anziehende Wirkung der Schleimmasse erhellt aus dem Gesagten ohne weiteres und STRASBURGER hat auch gezeigt, dass diese Schleimmasse auch dann noch die Samenfäden anlockt, wenn sie von der Mündung des Archegoniums fortgerissen ist. Es lässt sich aber direkt darthun, dass nicht der Schleim als solcher, sondern ein in demselben enthaltener, leichter diffundirender Stoff das Reizmittel der Samenfäden ist. Als ich nämlich ein geöffnetes Archegonium in nicht zu wenig Wasser unter Deckglas ruhig verweilen ließ, übte jenes auf die nach 50 Minuten hinzukommenden Samenfäden keine Anziehung aus, dagegen war der gequollene Schleim auch jetzt noch um die Mündung des Archegoniums gelagert. In anderen Versuchen war schon nach 30 Minuten die anziehende Wirkung auf Samenfäden diesem Schleime verloren gegangen.

Lässt sich nun auch die Äpfelsäure in der aus dem geöffneten Archegonium hervortretenden Masse nicht nachweisen, so wird man diese doch mit einer an Gewissheit grenzenden Wahrscheinlichkeit als die Ursache der anziehenden Wirkung auf Samenfäden ansprechen dürfen. Bei der allgemeinen Verbreitung der Äpfelsäure im Pflanzenreich wird deren Vorhandensein in dem Archegonium um so wahrscheinlicher, und wenigstens in den Geschlechtsorgane tragenden Prothallien konnte ich diese Säure makrochemisch nachweisen. Das Decoct aus zahlreichen Prothallien von *Pteris serrulata* und *Adiantum capillus veneris* behandelte ich zu dem Ende mit Barythydrat und essigsaurem Blei in der früher (p. 444) beschriebenen Weise.

Nachdem der Bleiniederschlag mit Schwefelwasserstoff zersetzt und die freien Säuren mit Calciumcarbonat neutralisirt waren, wurde das Filtrat nochmals mit Bleiacetat gefällt und der ausgewaschene Niederschlag mit etwas Ammoniak behandelt. Das Zurückbleibende zeigte jetzt beim Kochen unter etwas Wasser das für äpfelsaures Blei charakteristische Zusammenfließen zu einer zähen klebrigen Masse.

Da ferner die Äpfelsäure der einzige unter den verbreiteten Pflanzenstoffen ist, welcher auf Samenfäden die anziehende Reizwirkung ausübt, so wird wahrscheinlich diese Reizwirkung durch den aus dem Archegonium entleerten Inhalt nur durch Äpfelsäure ausgeübt werden. Jedenfalls liegt kein Grund vor zu der Annahme, es möchte neben der Äpfelsäure in dem aus dem Archegonium entleerten Schleime noch ein anderer wenig verbreiteter Pflanzenstoff sich finden, der eine analoge Reizwirkung auf die Samenfäden der Farne ausübt. Direkt widerlegen lässt sich freilich eine solche Möglichkeit nicht, und dass auch seltenere Pflanzenstoffe als spezifische Reizmittel zur Anlockung der Samenfäden in die Archegonien dienstbar gemacht sind, werden wir für die freilich gegen Äpfelsäure unempfindlichen Samenfäden von Marsilia und von Lebermoosen erfahren.

Wie dem aber auch sei, jedenfalls handelt es sich im entleerten Inhalt der Archegonien um einen der Äpfelsäure analog wirkenden Körper. Denn liegen die sich öffnenden Archegonien in der Lösung eines äpfelsauren Salzes genügender Concentration, so wirkt der austretende Schleim in keiner Weise anziehend auf die Samenfäden der Farne, so wie es ja die in einer Glascapillare zugeschobene Äpfelsäurelösung nicht thut, wenn sie nicht mindestens 30 mal mehr Äpfelsäure als die umgebende Flüssigkeit enthält.

Unter der Voraussetzung, dass im Archegonium das wirksame Reizmittel nur Äpfelsäure ist, lässt sich der prozentische Gehalt dieser in dem Archegoniumhalse annähernd bestimmen, indem man ermittelt, bei welchem Äpfelsäuregehalt der Außenflüssigkeit das sich öffnende Archegonium eine eben noch merkliche Anziehung auf die Samenfäden ausübt. Dieses traf in 4 Versuchen, in welchen Archegonien von *Adiantum capillus veneris* und Samenfäden von *Adiantum cuneatum* benutzt wurden, übereinstimmend zu, wenn in der Außenflüssigkeit sich 0.04 Proz. Äpfelsäure als Natronsalz befanden. Enthielt die Außenflüssigkeit 0.004 Proz. Äpfelsäure, so erfuhren die Samenfäden eine noch recht ansehnliche Anziehung durch den aus dem Halse des Archegoniums entleerten Inhalt, während dieser gar keine Wirkung auf die vorbeistehenden Samenfäden ausübte, als diese in einer 0.04 Proz. Äpfelsäure enthaltenden Flüssigkeit schwammen. Somit wird der Äpfelsäuregehalt im Archegonium annähernd 0.3 Proz. betragen. Dabei ist übrigens die Säure entweder ganz oder zum größten Theil an Basen gebunden, da eine saure Reaktion des Inhalts eines Archegoniums von *Adiantum capillus veneris* nicht sicher zu beobachten war, als die Öffnung eines in verdünnter Lakmustinktur liegenden Archegoniums verfolgt wurde.

Der Äpfelsäuregehalt im Archegonium ist hiernach noch nicht so hoch wie in manchen anderen Pflanzentheilen. Denn Winckler erhielt aus 400 Theilen Vogelbeeren $4\frac{1}{2}$ Theile äpfelsaures Blei, und Stengel mit Blättern von *Rheum palmatum* und *undulatum* lieferten $3\frac{1}{2}$ Proz. sauer äpfelsaures Kalium, ohne dass die gesammte Menge an Äpfelsäure gewonnen worden wäre ¹⁾.

In den eben besprochenen Experimenten kamen ein Längsschnitt aus dem Prothallium von *Adiantum capillus veneris*, der ein geeignetes Archegonium trug, und Antheridien führende kleine Prothallien von *Adiantum cuneatum* unter Deckglas, wurden dann mit der als Außenflüssigkeit bestimmten Lösung von äpfelsaurem Natron sorgfältigst ausgewaschen und, um Konzentrationsänderungen der umgebenden Flüssigkeit zu vermeiden, während der Beobachtung in einer Feuchtkammer gehalten. Einen Beweis, dass nur Äpfelsäure das wirksame Reizmittel sein könne, erbringen diese Experimente nicht, da, wie die früher (p. 399) mitgetheilten Erfahrungen mit Maleinsäure lehren, die Unterschiedsempfindlichkeit der Samenfäden gegen Äpfelsäure auch von einem dieser analog wirkenden Stoffe beeinflusst wird.

Die speziell die Samenfäden von *Marsilia* und *Marchantia* in die Archegonien dieser Pflanzen lockenden Stoffe sind übrigens im Halskanal des Archegoniums der Farne nicht enthalten, da der entleerte Inhalt dieses letzteren nicht die geringste anziehende Wirkung auf die vorgenannten Samenfäden ausübt. Dagegen werden die gegen Äpfelsäure empfindlichen Spermatozoiden von *Selaginella* durch den aus dem Halskanal eines Farn-Archegoniums austretenden Inhalt sehr energisch angezogen. Wenn um diesen sich auch bis zu einem gewissen Grade *Bacterium termo* sammelt, so ist dieses darin begründet, dass Bakterien sich allgemein nach geeignetem Nährmaterial hinbewegen. Das indifferente Verhalten der Samenfäden von *Marsilia* und *Marchantia*, und der in der Nähe des Archegoniums liegenden todtten Körperchen beweist zugleich, dass die Anziehung nicht von Strudeln oder irgend welchen mechanischen Wasserbewegungen abhängt.

Übt nun auch der Schleim selbst keine anziehende Wirkung auf die Samenfäden aus, so begünstigt er doch das Eindringen dieser in den Halskanal des Archegoniums aus gleichen Gründen wie deren Eindringen in enge Glascapillaren. Hinsichtlich letzterer ist früher (vgl. p. 390) mitgetheilt, dass die langsamer herantretenden Samenfäden nicht so leicht beim Anstoßen an den Rand der Öffnung abprallen, wie die schnell heranschießenden, und dass die im Schleim vertheilte Äpfelsäure, so wie dieser selbst, durch leichtere Wasserströmungen nicht so leicht mechanisch fortgespült wird.

Die Öffnung des Archegoniumhalses ist zwar eng, höchstens 12 Mikromm

1) Vgl. HUSEMANN, Die Pflanzenstoffe 1882. 2. Aufl. p. 197.

weit, doch im übrigen vortheilhafter für das Eindringen der Samenfäden als die Öffnung von Glascapillaren. Denn statt des scharfkantigen Randes dieser ist die Öffnung des Archegoniums abgerundet und ihre trichterförmige Erweiterung nach außen begünstigt natürlich, dass die Samenfäden in den Halskanal gelenkt werden. In diesem wird ferner den Samenfäden dauernd Sauerstoff zugeführt, der, selbst wenn die assimilatorische Thätigkeit der grünen Zellen stille steht, doch diosmotisch seinen Weg zum Kanale findet, und hiernach allein schon ist verständlich, warum die Samenfäden im Archegonium länger als in einer Glascapillare mit impermeabler Seitenwand am Leben bleiben.

Schon vorhin ist bemerkt, dass der Schleim vor und in dem Halse des Archegoniums, der verlangsamten Bewegung nach zu urtheilen, mechanische Widerstände wie dickflüssiger Traganthschleim bietet, dass in der Centralzelle aber offenbar nur verdünnterer Schleim sich findet, weil in dieser angelangt sich die Samenfäden wieder flinker bewegen. Offenbar hängt dieses damit zusammen, dass das diosmotisch hereintretende Wasser, wie es die Ursache des länger fort dauernden langsamen Hervortretens von Schleim aus dem Archegonium ist, in diesem und insbesondere im unteren Theile dieses eine mehr und mehr verdünnte Lösung herstellt.

Der vor dem geöffneten Archegonium liegende Schleim ist entschieden klebriger als der Traganthschleim und hiermit, d. h. weil die mitgeschleppte Blase fester gehalten wird, dürfte es wohl zusammenhängen, dass diese Blase im Schleim des Archegoniums gewöhnlich, im Traganthschleim aber nur ausnahmsweise abgestreift wird. Sobald aber dieses stärkere Festhalten der Blase zugegeben wird, erklärt es sich weiter, warum die nach der concentrirteren Äpfelsäurelösung in der Öffnung des Archegoniums strebenden Samenfäden, während dieses Strebens sich von der Blase loszureißen, ihren Körper durchgehends auffällig strecken. Um auch die Präcision, mit der dieses geschieht, zu erklären, scheint also eine günstige physikalische Beschaffenheit des aus dem Archegonium tretenden Schleimes ausreichend und wir werden nicht zu der Annahme einer anderweitigen spezifischen Wirkung dieses Schleimes genöthigt, um zu erklären, warum Abstreifen der Blase und Körperstreckung der Samenfäden in diesem Schleime präziser vor sich gehen, als an den in Traganthschleim, Gummischleim oder in genügend weiche Gelatine eindringenden Samenfäden.

Ebenso ist es keine den Archegonien allein zukommende Erscheinung dass, besonders wenn zahlreiche Samenfäden eindringen, einzelne dieser, sich rückwärts bewegend, heraustreten. Dasselbe habe ich nämlich vereinzelt auch an Samenfäden beobachtet, die in enge Intercellularräume pflanzlicher Gewebe eingedrungen waren (vgl. auch p. 394), und es ist begreiflich, dass es um so häufiger vorkommt, je mehr Samenfäden sich in einen engen Kanal sammendrängen.

Nicht weiter wurde bis dahin das Eindringen des Samenfadens in die

Eizelle ins Auge gefasst, das ich ganz so sich abspielen sah, wie es STRASBURGER¹⁾ beschreibt. Die Prothallien von *Ceratopteris thalictroides* sind genügend durchsichtig, um ohne jede weitere Präparation den Vorgang in der Centralzelle verfolgen zu können. Gelangt ein einzelner Samenfaden in die Centralzelle, so bleibt dieser sogleich oder nach einigem Herumschwärmen an dem hyalinen Empfängnissfleck der Eizelle haften und dringt, sich um seine Achse drehend, langsam in die Eizelle ein, kommt zur Ruhe und wird mehr und mehr undeutlich. Nach STRASBURGER gelangt immer nur ein Samenfaden in die Eizelle, die anderen in die Centralzelle eingedrungenen spielen um der Eizelle herum, bis sie zu Grunde gehen, sofern sie nicht etwa wieder das Archegonium verlassen.

Die Beobachtung an der Eizelle macht durchaus den Eindruck, als ob der Empfängnissfleck jener eine anziehende Wirkung auf den Samenfaden ausübte, und das wäre ja der Fall, wenn an dieser Stelle eine genügende Menge Äpfelsäure diosmirte, um den schon von Äpfelsäurelösung umgebenen Samenfaden zu einer locomotorischen Richtungsbewegung zu reizen. Einen wirklichen Beweis für diese Annahme, welche ja die Wahrscheinlichkeit für sich hat, vermag ich zur Zeit nicht zu erbringen.

Um aber diesen Vorgang verständlich zu machen, sind die früher (p. 394) mitgetheilten Versuche mit äpfelsäurehaltiger Gelatine geeignet, welche uns zeigten, wie ein Samenfaden in diese sich einbohrt, sofern die physikalische Beschaffenheit der Gelatine es gestattet, an consistenterer Gelatine aber abprallt. Wir hätten uns dann den Empfängnissfleck als die weichere oder als die allein Äpfelsäure hindurchlassende Stelle zu denken, resp. beides vereint an diesem Fleck anzunehmen. Das fernere Eindringen von Samenfäden würde dann sistirt werden, sofern Hineinarbeiten des ersten Samenfadens zur Folge hätte, dass dieser Empfängnissfleck consistenter wird oder die Diosmose von Äpfelsäure aus ihm aufhört, die ja für gewöhnlich nicht aus lebenden Zellen ausgegeben wird. Es ist diese Annahme, welche eine thatsächlich mit der Befruchtung eintretende Veränderung in der Eizelle fordert, vorläufig eine Hypothese. Die in dieser angenommene Diosmose der Äpfelsäure aus der Eizelle hat aber wenigstens nichts Befremdliches an sich, da offenbar auch die Eizellen von *Fucus* einen die Samenfäden dieser Pflanze herbeilockenden Stoff ausscheiden, wie sich aus Beobachtungen THURET's ergibt, deren später gedacht werden soll.

Sowie die Äpfelsäure Reizmittel für die Samenfäden aller Farne ist, wirkt auch der aus dem Archegonium entleerte Schleim anziehend auf die Spermatozoiden nicht nur der eigenen Art, sondern auch anderer Arten von Farnkräutern. Die Beobachtung ergab ferner, dass auch die Samenfäden fremder Arten durchaus gut in den Hals des Archegoniums einschwärmten. So sah ich in das Archegonium von *Pteris serrulata* die Samenfäden von

1) L. c. p. 405.

Blechnum fraxineum und *Adiantum cuneatum* dringen, und ebenso drangen diese Samenfäden in das Archegonium von *Adiantum capillus veneris* und *Ceratopteris thalictroides*. Dabei arbeiteten sich die fremden Samenfäden bis in die Centralzelle durch; ob sie auch in die Eizelle eindringen, habe ich nicht näher verfolgt.

So viel ist also gewiss, dass mechanische Einrichtungen nicht bestehen, welche das Eindringen von Samenfäden anderer Arten in das Archegonium eines Farnkrautes hindern. Dagegen gelangen die Samenfäden von *Selaginella erythropus* nicht in das Archegonium von *Adiantum capillus veneris*, obgleich der aus diesem entleerte Schleim sie energisch anzieht, weil ihre Bewegungskraft nicht ausreicht, um diesen Schleim zu durchdringen, in dem sie gleich nach dem Eintritt, oder nachdem sie eine kurze Wegstrecke zurückgelegt haben, an die Stelle gebannt liegen bleiben.

Wie unter normalen Vegetationsbedingungen die Befruchtung der Farne vermittelt wird, habe ich nicht näher verfolgt. Bekannt ist übrigens, wie häufig Wassertropfen, von Thau oder von Regen herrührend, der Unterseite des Prothalliums anhängen, und damit ist ja Gelegenheit zum Eindringen von Samenfäden in das Archegonium um so mehr gegeben, als namentlich dann Archegonien und Antheridien reichlicher sich öffnen, wenn sie nach vorausgegangener relativer Trockenheit in Wasser kommen.

III. *Selaginella*.

Die Samenfäden von *Selaginella* werden wie die der Farne durch Äpfelsäure und deren Salze zu locomotorischen Richtungsbewegungen veranlasst. Mein Untersuchungsmaterial bestand in *Selaginella erythropus*, deren Mikrosporen dicht auf Torf gesäet wurden und, bei hoher Wärme im Gewächshaus gehalten, nach ungefähr 5 Wochen Samenfäden gebildet hatten. Brachte ich dann von der zuletzt einige Tage etwas trockener gehaltenen Aussaat eine größere Zahl Mikrosporen unter Deckglas, so schwärmten gewöhnlich nach 3 bis 10 Minuten Samenfäden sehr reichlich im Gesichtsfeld herum.

Die Samenfäden von *Selaginella erythropus* sind wie die anderer Arten dieses Genus gestaltet und von nur geringer Größe. Der stabförmige, etwas gekrümmte Körper ist an dem vorderen, dünneren Ende mit 2 Wimpern von etwa $1\frac{1}{2}$ facher Körperlänge besetzt¹⁾. Mit diesen Wimpern vorausschreitend, bewegen sich diese Samenfäden viel langsamer als die von Farnen, doch schneller als die von *Marchantia* und *Funaria*.

Vertheilung und Ansammlung der Samenfäden von *Selaginella* lassen

1) Näheres siehe PFEFFER, Entwicklung des Keimes der Gattung *Selaginella* 1871. p. 47.

sich am besten im dunkeln Gesichtsfeld des ABBE'schen Beleuchtungsapparates übersehen. Denn es genügt jetzt eine 420fache Vergrößerung, um die zahlreichen Samenfäden als ebensoviele leuchtende Punkte herumschwärmen zu sehen.

Zu den herumschwärmenden Samenfäden schob ich dann, so wie es für die Experimente mit Farnen beschrieben wurde, eine Glascapillare von etwa 0.05 mm lichtem Durchmesser, die Äpfelsäure als Natronsalz enthielt. Bei einem Gehalt der Capillarflüssigkeit von 0.4 Proz. und 0.04 Proz. Äpfelsäure steuerten die Samenfäden sogleich reichlich nach der und in die Capillare, so dass in dieser im Lauf von $\frac{1}{4}$ Stunde Propfen von bewegungslos gewordenen Samenfäden angesammelt waren, die sicher aus 600 bis 800 Spermatozoiden bestanden. War die Capillare mit 0.004 Proz. Äpfelsäure enthaltender Flüssigkeit beschickt, so konnte eine schwache Anziehung seitens der Capillare eben noch bemerkt werden. Hiernach sind also die Samenfäden dieser Selaginella ebenso empfindlich, wie die der Farne, doch habe ich für jene die Reizschwelle nicht näher zu bestimmen gesucht.

Die Äpfelsäure ist also auch für die Samenfäden von Selaginella ein spezifisches Reizmittel. Ob diese Samenfäden dabei indifferent gegen alle dieselben Stoffe sind, welche für die Samenfäden der Farne kein Reizmittel sind, habe ich nicht geprüft. Übrigens wurden die Samenfäden von Selaginella ganz und gar nicht angezogen, als ich das auf S. 444 unter I aufgeführte Gemisch verwandte, in welchem die Äpfelsäure aber weggelassen war.

Auch in anderer Hinsicht verfolgte ich nicht eingehender diese Samenfäden, deren Verhalten gegen die sich entleerenden Archegonien von Farnen schon (p. 422) gedacht wurde.

IV. Marsilia.

Die Samenfäden von Marsilia werden zwar von dem Stoffgemische angezogen, das sich aus dem geöffneten Archegonium dieser Pflanze entleert, doch ist es mir nicht gelungen, das hier spezifisch wirksame Reizmittel aufzudecken; gegen alle geprüften Körper verhielten sich die Samenfäden von Marsilia indifferent. Bevor ich auf diese Experimente eingehe, sollen zunächst die Beobachtungen an gekeimten Makrosporen mitgeteilt werden, um zu zeigen, dass aus dem Archegonium von Marsilia ein Reizmittel der Samenfäden dieser Pflanze entleert wird.

Es ist hier nicht geboten, auf die durch HANSTEIN ¹⁾ bekannt gewordenen

1) Jahrb. f. wiss. Bot. 1865—66. Bd. 4. p. 197. Über eine neuholländische Marsilia 1862 (Separatabz. aus Monatsber. d. Berliner Akademie). — Mein Untersuchungsmaterial, das ich der Güte des Herrn Kollegen DE BARY verdanke, hatte schon lange Jahre gelegen, keimte aber noch vortrefflich. Vermuthlich gehörte dieses Material zu Marsilia Drummondii.

Keimungsvorgänge von Marsilia näher einzugehen. Wird die Frucht von Marsilia, an der Bauchnath eingekerbt, in Wasser gelegt, so quillt bekanntlich aus der zweiklappig aufspringenden Fruchtschale ein hyaliner Gallerring hervor, mit welchem die anhängenden Sorusfächer herausgezogen werden, aus denen dann weiterhin Makrosporen und Mikrosporen ins Freie gelangen. Die ganze Entwicklung spielt sich hier sehr schnell ab, denn nach 16 bis 24 Stunden sind bei normaler Zimmertemperatur Samenfäden gebildet und das einzige Archegonium der Makrospore ist befruchtungsfähig.

Die Samenfäden werden je zu 32 in einer Mikrospore gebildet und schwimmen nach dem Entleeren flink, wie die Samenfäden der Farne, herum. Wie diese sind sie auch relativ groß und schraubenförmig gewunden, jedoch mit zahlreicheren, etwa 10 bis 13 Windungen versehen. Die vorderen Windungen sind frei von Wimpern, welche zahlreich und von ziemlicher Länge die folgenden Windungen bedecken, jedoch wieder gegen die hintere Windung hin fehlen, welcher die Stärkekörnchen führende, verhältnissmäßig grosse Blase angeheftet ist. Analog wie die Samenfäden der Farne, bewegen sich die von Marsilia, mit dem vorderen Ende vorausgehend, und während der Körper um seine Längsachse sich dreht.

Die Makrospore bildet auf ihrem Scheitel ein einziges Archegonium, dessen kurzer Hals endlich an der Spitze aufreißt, wobei eine schleimige Masse sich in die das Archegonium umgebende Gallertschicht entleert. Die ganze Makrospore ist von einer gallertartigen Hülle umgeben¹⁾, welche aber über dem Scheitel mächtiger ist und hier noch eine besondere Gestaltung bietet. Die Gallertmasse zeigt nämlich concentrische Schichtung, die indess in einer Zone derselben fehlt, welche auf dem Scheitel der Makrospore einen dieser mit der Basis aufsitzenden kegelförmigen Raum bildet. Dieser Raum in welchen das Archegonium mündet, mag Gallertrichter oder Schleimtrichter genannt sein. Der Inhalt dieses Trichters ist ebenfalls eine gallertartige Masse, die durchschnittlich etwas geringere Consistenz besitzt, als die übrige Gallertschicht, durch welche ein enger Kanal dieser ungeschichteten Gallertmasse nach außen führt²⁾.

Einen solchen Bau besitzen die Makrosporen vor und nach dem Öffnen des Archegoniums. Nach dem Öffnen findet man zahlreiche der inzwischen entwickelten Samenfäden überall an der Gallertschicht klebend und besonders auch reichlich in dem Gallertrichter. Um aber das Verhalten der Samenfäden gegen die Makrospore zu studiren, separirt man besser die Makrosporen, sobald diese isolirt im Wasser liegen. Zu geeigneter

1) Über Entwicklung dieser Sporenhüllen vgl. STRASBURGER, Bau u. Wachsthum d. Zellhäute 1882. p. 124.

2) Vgl. die Abbildg. bei HANSTEIN l. c. und in GÖBEL, Grundzüge der Systematik und Morphologie 1882. p. 259.

Zeit bringt man dann die gleichfalls getrennt entwickelten Mikrosporen hinzu und verfolgt die ausschwärmenden Samenfäden.

Beobachtungen in dieser Weise angestellt, lehren nun, dass die Schleimschicht keine anziehende Wirkung auf die Samenfäden ausübt, welche aber zahlreich an und in der Schleimschicht festgehalten werden. Dem entsprechend verhalten sich die Samenfäden auch in gleicher Weise gegen die Makrosporen vor und nach dem Öffnen des Archegoniums und auch dann, wenn sie nach diesem Öffnen 24 Stunden, ohne befruchtet zu werden, in Wasser liegen bleiben. Die anziehende Reizwirkung beschränkt sich auf die aus dem Archegonium in den Gallertrichter entleert werdende Materie, die wir indess zunächst vernachlässigen werden, um das Eindringen der Samenfäden in die Gallertmasse zu verfolgen.

Bringt man zu solchen Makrosporen Samenfäden, so steuern diese indifferent vorbei und stoßen nur dann an die Gallertschicht, wenn sie ohnehin ihr Weg gegen diese führt. Von diesen anstoßenden Samenfäden prallt ein Theil ab, ein guter Theil aber bleibt kleben, um nach einiger Zeit sich loszumachen oder, wie es zumeist zutrifft, dauernd in der Gallertschicht festgehalten zu werden. Solches geschieht überall, doch augenscheinlich etwas reichlicher an dem Scheitel der Makrospore, an dem die Gallertschicht mächtiger und, wie es scheint, auch etwas weicher ist.

Diese Gallertschicht auf dem Scheitel der Makrospore soll nun allein ins Auge gefasst werden, da nur die in sie eindringenden Samenfäden für die Befruchtung in Betracht kommen können. Von den an diese Schicht anstoßenden Samenfäden bleibt ein Theil an der Oberfläche kleben, andere dringen, sich langsam vorwärts schraubend, eine Strecke tief ein, um hier zur Ruhe zu kommen, andere wieder gelangen bis in den Schleimtrichter. Da die auf gleichem Wege vordringenden Samenfäden sich different verhalten, so hängen diese Differenzen offenbar mit ab von individuell verschiedener Bewegungskraft, die nicht immer ausreicht, den erheblichen mechanischen Widerstand der Gallerthülle zu überwinden. Eine gewisse Rolle hierbei spielt auch die Blase am hinteren Ende der Samenfäden. Ein Theil der vordringenden Samenfäden verliert diese Blase in der geschichteten Gallerthülle und dringt dann augenscheinlich nach dieser Erleichterung besser vorwärts, nicht wenige schleppen die Blase bis an den Gallertrichter mit, um sie beim Übergang in diesen abzustreifen, eine Anzahl Samenfäden endlich gelangt mit der Blase bis in den Gallertrichter. Letztere verlieren dann zumeist die Blase nicht, außer wenn sie nach dem Öffnen des Archegoniums, durch anziehende Reizwirkung, in jenes gelockt werden.

Während des Durcharbeitens durch die geschichtete Gallerthülle bewahren manche Samenfäden ihre Körperform, andere werden, doch zumeist vorübergehend, zu einer steileren Schraube, und wie bei Farnen geschieht dieses besonders dann, wenn die vorwärts strebenden Samenfäden sich

von der Blase losreißen. Übrigens findet man auch hier, wie bei den Farnen, Samenfäden, die in dieser langgestreckten Körperform zu Grunde gehen.

Auf dem beschriebenen Wege gelangt also ein Theil der Samenfäden durch die geschichtete Gallerthülle in den Schleimtrichter, in welchen nur vereinzelte Spermatozoiden durch den engen verquollenen Ausführgang ihren Weg finden. Die Consistenz der Masse des Gallertrichters scheint im allgemeinen ein klein wenig geringer zu sein, als die der geschichteten Gallerthülle, wenigstens hat man zumeist den Eindruck, als ob nach dem Eindringen in den Gallertrichter die Bewegung der Samenfäden in einem geringen Grade lebhafter würde. Übrigens ändert sich auch die Consistenz der Gallerthülle mit längerem Aufenthalt im Wasser.

Die einmal in die Gallerthülle eingedrungenen Samenfäden verlassen diese selten wieder, doch habe ich einigemal selbst solche Samenfäden sich ihren Rückweg bis in das umgebende Wasser bahnen sehen, die schon bis in den Gallertrichter eingedrungen waren. In dem Gallertrichter vertheilen sich die Samenfäden, so lange das Archegonium ungeöffnet ist, gleichmäßig, und häufig kommt hier vor, was in Wasser und auch in der geschichteten Gallerthülle ziemlich selten ist, dass die Samenfäden zeitweilig rückwärts steuern, wobei ihr Körper sich in umgekehrter Richtung, wie bei der vorwärts strebenden Bewegung, um seine Achse dreht. Welche Umstände diesen Bewegungsgang hier häufig werden lassen, weiß ich nicht zu sagen.

Um die Wirkung des sich öffnenden Archegoniums auf die Samenfäden gut beobachten zu können, ist es geboten, eine beschränkte Zahl von Samenfäden (etwa 4—8 Stück) in den Gallertrichter gelangen zu lassen, und dieses ist leicht zu erreichen, indem man die Makrosporen zeitig von den Mikrosporen separirt. Mit einiger Übung sieht man auch gut dem Archegonium an, ob es sich bald öffnen wird, und hat dann Gelegenheit zu beobachten, wie bei diesem Öffnen, in ähnlicher Weise wie bei den Farnen, plötzlich eine granulöse Masse hervorschießt, der in der Folge noch schleimige Masse folgt.

Die aus dem Archegonium entleerten Stoffe wirken, ganz ähnlich wie bei den Farnen, als Reizmittel auf die Samenfäden. Sogleich sieht man benachbarte Samenfäden nach der Öffnung des Archegoniums steuern und bald darauf werden etwas fernere zu derselben Richtungsbewegung gereizt. Waren wenige Samenfäden im Gallertrichter, so drängen sich dann vielleicht nach einiger Zeit alle um die Mündung des Archegoniums, doch pflegen nur einzelne, 1 bis 3 Stück, in den verhältnissmäßig engen Hals einzudringen¹⁾. Wird nun auch dieses Zusammendrängen, wie bei den Farnen, mit der Zeit weniger präcis, so kommt es doch nicht selten vor, dass, analog wie bei Farnen, eine Anzahl Samenfäden vor dem Archego-

¹⁾ Diese Verhältnisse wurden schon von HANSTEIN beobachtet; l. c. p. 249.

nium zur Ruhe kommt, eine Anhäufung hier bildend¹⁾). Diese kann natürlich ansehnlicher werden, wenn im Gallertrichter sich eine größere Zahl von Samenfäden befand, wobei aber weniger gut die anziehende Wirkung der aus dem Archegonium entleerten Masse und die allmähliche Erweiterung der Anziehungssphäre zu verfolgen ist.

Die anziehende Reizwirkung der aus dem Archegonium entleerten Masse steht also zweifellos fest, und zwar muss der wirksame Stoff in Wasser löslich und vermuthlich ein leichter diffundirender Körper sein. Denn einmal erweitert sich die Anziehungssphäre ziemlich schnell und alle Anziehungskraft war verschwunden, als ich Makrosporen nach dem Öffnen des Archegoniums $1\frac{1}{2}$ bis 3 Stunden in Wasser liegen gelassen hatte. Als nach dieser Zeit die bis dahin fern gehaltenen Samenfäden zu einer Makrospore kamen, drangen sie in üblicher Weise in Gallerthülle und Schleimtrichter ein, vertheilten sich aber gleichmäßig in letzterem und zeigten nicht die geringste Tendenz, nach der Öffnung des Archegoniums zu steuern.

Das Eindringen in Gallerthülle und Schleimkanal spielt sich auch noch in derselben Weise ab, wenn eine Makrospore nach dem Öffnen des Archegoniums 24 Stunden in einer größeren Menge Wasser zugebracht hat. Die Gallerte bewahrte eben im wesentlichen ihre physikalische Beschaffenheit und anziehende Wirkung übte sie überhaupt nie auf Samenfäden aus. Denn diese steuern, wie schon bemerkt, indifferent vorbei und häufen sich nur an, weil ein guter Theil der anstoßenden Samenfäden haften bleibt. Da aber diese nach allen Richtungen herumsteuern, wird natürlich allmählich eine große Zahl der in dem umgebenden Wasser vorhandenen Samenfäden in der Gallerthülle gefangen sein. So bildet sich in dieser eine Anhäufung der Samenfäden und eine solche muss nothwendig immer zu stande kommen, wenn von den nach gleichmäßiger Vertheilung im umgebenden Medium strebenden Körpern die an einen bestimmten Punkt gelangenden festgehalten werden. Eine wesentlich analoge Ursache bewirkt ja auch, dass in einer Lösung von Kupfervitriol schließlich alles Kupfer auf einem hingestellten Zinkstück vereinigt ist, welches zunächst nur die in seiner unmittelbarsten Nähe befindlichen Kupfertheilchen auf sich niederschlug, durch Diffusion (oder auch mechanische Wasserbewegung) aber immer neue Kupfertheilchen zugeführt bekam.

Ebenso werden auch kleine Schnitte aus der Samenschale von *Linum usitatissimum* ein Sammelpunkt für die Samenfäden von *Marsilia*, die in-

1) Nach längerer Zeit bilden sich hier, veranlasst durch das Nährmaterial, Ansammlungen von Bacterien, wie dieses schon HANSTEIN (l. c. p. 224) beobachtete. Dieser ist aber darin im Irrthum, dass er (p. 224) an der Archegoniummündung auch eine Anziehung auf todte Körper bestehen lässt. Sind keine Samenfäden im Gallertrichter, so bleiben todte Körpertheilchen unbewegt vor dem Archegonium, nahe dessen Öffnung, liegen.

dess an jenen sich in begrenzterer Zahl anhäufen, weil verhältnissmäßig viele der in den Leinsamenschleim gelangten Samenfäden sich wieder aus diesem befreien. In diesen Schleim gelangen aber auch nur Samenfäden, deren Weg sie ohnehin dahin führt, eine Ablenkung von ihrer Bewegungsbahn erfahren die Samenfäden durch einen Leinsamenschnitt nicht. Dieses gilt ebenso für Stückchen von Traganthgummi, welche indess die anstoßenden Samenfäden weniger fest halten und deshalb zu keinen besonders auffälligen Anhäufungen derselben führen. Übrigens werden wir analoge Ansammlungen durch Festhalten der zufällig auftreffenden Organismen weiterhin, insbesondere noch für *Pandorina*, kennen lernen.

Beobachtet man nun weiter das Verhalten in der Gallerthülle, so sieht man in dieser die Samenfäden nach verschiedenen Richtungen vorrücken und auch nur ein gewisser Theil der in die Gallerthülle am Scheitel der Makrospore eingetretenen Samenfäden gelangt in den Schleimtrichter. Einrichtungen, die nach diesem hin den Weg der Samenfäden in ganz hervorragender Weise lenken, sind also in den physikalischen Eigenschaften der Gallerthülle nicht gegeben, doch will ich deshalb die Möglichkeit nicht abstreiten, dass der Weg in den Schleimtrichter durch die Vertheilung der mechanischen Widerstände in der concentrisch geschichteten Gallerthülle oder durch andere physikalische Eigenschaften dieser etwas begünstigt ist. Die nächste Zeit nach dem Öffnen des Archegoniums scheinen in der That die Samenfäden den Weg nach dem Schleimtrichter zu bevorzugen, was auch vollständig verständlich ist, als eine Wirkung des aus dem Archegonium ausgetretenen und durch die Gallerte diffundirenden Reizmittels. Übrigens findet man auch schon vor dem Öffnen des Archegoniums oft den ganzen Gallertrichter wimmelnd von Samenfäden, nämlich dann, wenn letztere sehr zahlreich in dem umgebenden Wasser vorhanden sind, doch ist dann auch die concentrisch geschichtete Gallerthülle mit sehr zahlreichen Samenfäden versehen.

Wie schon bemerkt, führten meine Untersuchungen mich nicht zur Entdeckung des spezifischen Reizmittels der Samenfäden von *Marsilia*. Indifferent steuerten diese an Glascapillaren (0.40 bis 0.43 mm weit) vorbei, die eine Abkochung von Gras oder auch der Blätter, einschließlich der Früchte, von *Marsilia Drummondii* in verdünnter oder concentrirter Form enthielten. Ebenso wirkten in keiner Weise anziehend die auf Seite 444 unter I und II genannten Gemische aus organischen Säuren und Kohlehydraten; ferner ein Gemisch, das von Asparagin, Kreatin, Kreatinin, Leucin, Guanin, Glycocoll je 0.6 Proz. enthielt und mit Tyrosin gesättigt war. Ebenso lieferten ein negatives Resultat die Versuche mit Fleischextrakt und dem noch speziell geprüften äpfelsauren Natron.

Da auch die aus gekappten Haaren von *Urtica* und *Heracleum sphondylium* hervortretende Masse nicht anziehend auf die Samenfäden von *Marsilia* wirkt, so kann das Reizmittel dieser nicht in einem zwar verbreit-

teten, aber in Abkochungen nicht übergehenden Pflanzenstoff bestehen und wir müssen also annehmen, dass das aus dem Archegonium entleerte spezifische Reizmittel dieser Samenfäden ein weniger verbreiteter Pflanzenstoff ist. Um zu prüfen, ob eine Abkochung der mit ungeöffneten Archegonien versehenen Makrosporen als Reizmittel wirkt, hatte ich nicht genügendes Material zur Verfügung.

Die Einrichtungen zur Befruchtung bestehen also bei *Marsilia* darin, dass die Gallertschicht von den umherschwärmenden Samenfäden die zufällig anstoßenden zum guten Theil festhält und eine gewisse Zahl dieser in den Gallertrichter gelangen lässt. Hierdurch ist dann dafür gesorgt, daß Samenfäden in der Nähe des Archegoniums sich befinden, wenn dieses sich öffnet und ein Reizmittel entleert, das Samenfäden in das Innere des Archegoniums lockt. Die Schleimschicht, in welche der Inhalt des Halskanals des Archegoniums sich ergießt, verhindert, dass das Reizmittel schnell durch das Wasser entfernt wird, in welchem sich die Sporen entwickeln.

Einsolches Auswaschen würde aber auch dauernd thätig sein, wenn die Gallerthülle einen löslichen Stoff als Reizmittel absonderte und, um diese Reizwirkung Tage lang zu erhalten, müssten allmählich große Mengen dieses Stoffes producirt werden. So gewinnt, unter diesen Gesichtspunkten betrachtet, die direkte Beobachtung an Wahrscheinlichkeit, nach der die Schleimschicht keine anziehende Wirkung auf die Samenfäden von *Marsilia* ausübt. Die faktische Einrichtung bei *Marsilia* erscheint in der That bei diesem in Wasser sich abspielenden Befruchtungsvorgang ganz zweckmäßig und sichert die Befruchtung um so mehr, als unter normalen Verhältnissen die im Verhältniss zahlreichen Mikrosporen in der Nähe der Makrosporen zur Entwicklung kommen.

Wie es sich mit den Befruchtungsvorgängen der übrigen *Rhizocarpeen* verhält, habe ich nicht untersucht, und da aus der Literatur nicht zu entnehmen ist, ob Reizwirkungen auf die Samenfäden eine Rolle mitspielen, unterlasse ich es, für die übrigen *Rhizocarpeen* die Einrichtungen zu beleuchten, welche auf Erreichung der Befruchtung abzielen. Übrigens werden auch sicher von manchen niedriger stehenden Wasserpflanzen Stoffe ausgeschieden, die dazu dienen, die Samenfäden zu der Eizelle zu locken, wie der spätere Hinweis auf *Fucus* und einige andere Algen lehren wird. Doch werden wir auch Fälle kennen lernen, in denen bei Wasserpflanzen ein anlockendes Reizmittel augenscheinlich nicht in dem Befruchtungsvorgang mitwirkt.

Die Erfahrungen an *Marsilia* lehren uns aber, dass nicht in der ganzen Abtheilung der Gefäßkryptogamen die Äpfelsäure ein spezifisches Reizmittel der Samenfäden ist, und es wird somit nur durch spezielle Prüfung entschieden werden können, wie sich die Sache z. B. bei *Equisetaceae* und

Isoetes¹⁾ verhält. Voraussichtlich wird bei allen Gefäßkryptogamen ein Reizmittel die Samenfäden in das Archegonium locken, eine Annahme, die um so wahrscheinlicher klingt, als auch bei anderen Archegoniaten, nämlich bei Laubmoosen und Lebermoosen, ein spezifisches Reizmittel diesem Zwecke dienstbar ist.

V. Laubmoose.

Sowohl bei Laubmoosen, als auch bei Lebermoosen wirkt die aus dem geöffneten Archegonium hervortretende Masse anziehend auf die Samenfäden, doch hängt diese locomotorische Reizwirkung bei beiden von spezifisch verschiedenen Reizmitteln ab. Reizmittel ist nämlich für die Samenfäden der Laubmoose Rohrzucker, während die Samenfäden der Lebermoose gegen alle geprüften Stoffe sich indifferent verhielten, weshalb das sie in das Archegonien des Lebermooses lockende Reizmittel ein wenig verbreiteter Pflanzenstoff sein muss.

Die anziehende Wirkung des aus dem Archegonium sich entleerenden Inhalts constatirte ich für die monöcische *Funaria hygrometrica* und das Zwitterblüthen tragende *Leptobryum pyriforme*. Beim Durchmustern der Blüthen des letztgenannten Mooses fanden sich auch solche Blüthenstände, in denen beim Liegen in Wasser sich nach einiger Zeit Antheridien und weiterhin ein Archegonium öffneten. Waren bis dahin die Samenfäden an diesem indifferent vorbei geschwommen, so steuerten sie nun reichlich nach dem aus dem Archegonium gedrungenen Schleime, der in ganz ähnlicher Weise entleert wurde, wie aus Archegonien von Farnen. Die von dem entleerten Inhalt ausgeübte Anziehung war sehr energisch und sehr reichlich sammelten sich die Samenfäden um den Schleim und in demselben, während zugleich mehrere in den Hals des Archegoniums eindrangten.

Ebenso wie *Leptobryum* verhielt sich *Funaria hygrometrica*, als gleichzeitig männliche und weibliche Blüthen unter Deckglas gebracht waren und ein Archegonium sich öffnete, nachdem zuvor Samenfäden erschienen waren. Auch stellte ich noch fest, dass die Samenfäden von *Funaria hygrometrica* von der aus dem Archegonium von *Leptobryum pyriforme* entleerten Masse ebenso gut angezogen werden, wie die Samenfäden der eigenen Art.

Zu den Untersuchungen über Reizwirkung dienten die Samenfäden von *Funaria hygrometrica*, auf welche sich zunächst alles Folgende bezieht;

1) Samenfäden im Schleime des Archegoniumhalses von *Isoetes* glaubt Hofmeister gesehen zu haben. Beiträge zur Kenntniss der Gefäßkryptogamen 1855, aus Abhandlg. d. Sächs. Ges. d. Wissenschaft. Bd. 4. p. 131.

für die Samenfäden von *Leptobryum pyriforme* und *Brachythecium rivulare* wurde nur festgestellt, dass auch für sie Rohrzucker das Reizmittel ist.

Bringt man Antheridien aus dem männlichen Blütenstand von *Funaria* in Wasser, so öffnen sich nach einiger Zeit die reifen Antheridien auf dem Scheitel, und darmförmig zusammenhängend tritt der Inhalt heraus. Nun beginnen die Mutterzellen der Spermatozoiden zu quellen, und nachdem letztere schon zuvor sich deutlich bewegten, entschlüpfen sie endlich ihren Mutterzellen. So in Freiheit gesetzt, vertheilen sich die bekanntlich kleinen, gekrümmt stabförmigen, am vorderen, vorausgehenden Ende mit zwei langen Wimpern besetzten Samenfäden in dem umgebenden Wasser. Ihre Bewegung ist aber nur mäßig schnell, viel langsamer, als die der Samenfäden von *Selaginella* oder gar der Farne.

Schiebt man dann eine Glascapillare (ich wandte diese 0.05 bis 0.07 mm weit an) mit 0.4 Proz. Rohrzucker enthaltendem Inhalt hinzu, so wandern diese Samenfäden massenhaft in die Capillare, so dass diese in einiger Zeit förmlich vollgepfropft werden kann¹⁾. Ganz analog wie die Samenfäden der Farne, werden auch die unseres Mooses durch das diffundirende Reizmittel von ihrer Bahn abgelenkt und steuern mit augenscheinlich nicht beschleunigter Schnelligkeit nach der Capillare. Die Reizwirkung besteht also hier, gerade so wie bei den Samenfäden der Farne, in einer entsprechenden Achsenrichtung des Körpers, welche diesen so stellt, dass der Samenfaden nach der concentrirteren Lösung hin steuert. Es bedingt eben wieder nur die Konzentrationsdifferenz eine locomotorische Richtungsbewegung; in eine homogene Lösung von 0.4 Proz. Rohrzucker gebracht, bewegen sich die Samenfäden ebenso wie in reinem Wasser.

In Empfindlichkeit gegen ihr spezifisches Reizmittel geben die Samenfäden von *Funaria* denen der Farne nichts nach. Bei einem Gehalt der Flüssigkeit von 0.4 Proz. Rohrzucker dringen die Samenfäden noch reichlichst in die Capillare und bei 0.004 Proz. Rohrzucker war in den meisten Versuchen eine eben noch merkliche Anziehung zu beobachten, d. h. am Capillarmund fand eine, wenn auch ganz geringe Ansammlung statt und eine kleine Zahl Samenfäden drang in die Capillare. Die Reizschwelle der Samenfäden von *Funaria* liegt also, ebenso wie die der Samenfäden der Farne, bei einem Gehalt der Flüssigkeit an 0.004 Proz. des spezifischen Reizmittels, d. h. an Rohrzucker.

Bei Bestimmung der Reizschwelle für die Samenfäden von *Funaria* wurden natürlich alle früher, bei Besprechung der Farne, hervorgehobenen Vorsichtsmaßregeln angewandt. Insbesondere wurde eine beschränkte Zahl von Antheridien unter Deckglas gebracht und diese wurden sorgfältig abgewaschen, um allenfalls vorhandenen Rohrzucker zu entfernen.

1) Die Beobachtung geschieht auch hier am bequemsten und übersichtlichsten, wie bei *Selaginella*, im Dunkelfeld des ABBÉ'schen Beleuchtungsapparates.

Das Vorhandensein von Rohrzucker in der umgebenden Flüssigkeit beeinflusst die Unterschiedsempfindlichkeit der Samenfäden von *Funaria*, wie es scheint, in analoger Weise, wie die der Samenfäden der Farne. Wenigstens sprechen meine wenigen diesbezüglichen Versuche dafür, dass das WEBER'sche Gesetz auch für die Samenfäden der Laubmoose gilt. Ich brachte nämlich Samenfäden von *Funaria* das einmal in eine homogene Lösung mit 0.004 Proz., das anderemal mit 0.04 Proz. Rohrzucker und fand, dass die Samenfäden jedesmal indifferent vorbeisteuerten, wenn die Capillare eine 40 mal concentrirtere Lösung (mit 0.04, resp. 0.4 Proz. Rohrzucker) enthielt, dagegen schon recht merklich angezogen wurden, wenn die Capillarflüssigkeit die 50 fache Concentration (0.05, resp. 0.5 Proz. Rohrzucker) der Außenflüssigkeit besaß. Ist nun auch hiermit die Unterschiedsempfindlichkeit nicht näher bestimmt, so spricht doch diese Erfahrung entschieden zu Gunsten der Gültigkeit des WEBER'schen Gesetzes, und jedenfalls muss die Concentration der Capillarflüssigkeit absolut um so mehr gesteigert werden, je gehaltreicher an Rohrzucker die Aufenthaltsflüssigkeit der Samenfäden genommen wird.

Ob auch hier mit steigender Concentration eine abstoßende Wirkung zu stande kommt, wurde nicht näher geprüft, nur so viel kann ich sagen, dass noch zahlreiche Samenfäden in eine Capillarflüssigkeit mit 45 Proz. Rohrzucker traten, obgleich sie in dieser schnell ihren Tod fanden.

Außer gegen Rohrzucker erwiesen sich die Samenfäden von *Funaria* gegen alle anderen untersuchten Stoffe indifferent. So wurden mit negativem Resultate die auf Seite 444 unter I und III aufgeführten Gemische von organischen Säuren und stickstoffhaltigen Körpern geprüft und das dort genannte Gemisch II aus Kohlehydraten wirkte nur vermöge seines Gehaltes an Rohrzucker. Denn keines der anderen dort genannten Kohlehydrate beeinflusste die Bewegung der Samenfäden und dieses auch dann nicht, als Traubenzucker, Fruchtzucker, arabisches Gummi, Dextrin, Dulcit, Inosit, Glycogen, Mannit, Milchzucker in einer Lösung vereint sich befanden.

Indifferent verhielten sich auch die Samenfäden von *Funaria* gegen Fleischextrakt und gegen eine Lösung, die je 0.1 bis 0.25 Proz. folgender Glycoside enthielt: Salicin, Äsculin, Glycyrrhizin, Berberin. Dagegen schwimmen diese Samenfäden reichlich in eine Grasdecoct enthaltende Capillare, woraus indess nur gefolgert werden kann, dass dieses Decoct Rohrzucker enthält. Als Reagens auf diesen lassen sich die Samenfäden der Laubmoose in analoger Weise benutzen, wie die Samenfäden der Farne als Reagens auf Äpfelsäure, doch sind jene aus verschiedenen Gründen, die hier übergangen sein mögen, weniger gut als die Samenfäden der Farne als solches physiologisches Reagens zu handhaben.

Rohrzucker ist somit das spezifische Reizmittel der Samenfäden von *Funaria* und auch anderer Moose. Gleiche Erwägungen, wie sie hinsichtlich

der Farne (p. 417) angestellt wurden, führen aber auch zu dem Schlusse, dass Rohrzucker wohl gewiss das Reizmittel ist, durch welches die aus dem Archegoniumhalse hervortretende Masse anziehend auf die Samenfäden der Laubmoose wirkt.

Von anderen Laubmoosen habe ich nur noch für *Leptobryum pyriforme* und *Brachythecium rivulare* constatirt, dass Rohrzucker für die Samenfäden dieser Arten ein vorzügliches Reizmittel ist. Für die Samenfäden von *Leptobryum* stellte ich auch noch ihren Indifferentismus gegen das vorhin genannte, des Rohrzuckers entbehrende Gemisch von Kohlehydraten fest.

Da also sowohl acrocarpische als pleurocarpische Moose geprüft wurden, dürfte wohl der Rohrzucker allgemein als spezifisches Reizmittel der Samenfäden der echten Laubmoose angesprochen werden. Doch fordern die unter Wasser lebenden Moose zu einer speziellen Untersuchung auf, um zu erfahren, ob bei diesen nicht etwa Anpassungen an ihre besondere Lebensweise eine Abweichung zur Folge gehabt hatten. Ferner wird erst das Experiment zu entscheiden haben, wie sich die Sache mit *Sphagnum* und *Andraea* verhält, denn einen Schluss auf diese können wir um so weniger wagen, als bei den Lebermoosen Rohrzucker kein Reizmittel der Samenfäden ist.

Bei *Funaria* beobachtet man dann und wann, dass die Samenfäden ihren Mutterzellen nicht oder nur theilweise entschlüpfen, obgleich sie sich in den Mutterzellen bewegen. Solche Objekte liegen dann ruhig an einer Stelle oder rücken nur langsam und unbestimmt vorwärts. So in ihrer Bewegung beeinträchtigt, gelangen diese Samenfäden nur sehr spärlich in eine Rohrzucker enthaltende Capillare und zu den Versuchen über Reizwirkung sind deshalb nur den Mutterzellen ganz entschlüpfte und normal sich bewegende Samenfäden zulässig.

Solche ihren Mutterzellen sich nicht oder unvollständig entwindende Samenfäden traf ich viel häufiger bei *Leptobryum pyriforme* und noch mehr bei *Brachythecium rivulare*. Bei der letztgenannten Pflanze erhielt ich erst nach längerem Suchen frei bewegte Samenfäden und bei *Bryum capillare*, *Mnium cuspidatum*, *Hypnum cupressiforme* gelang es mir überhaupt nicht, solche zu sehen. Namentlich von *Bryum capillare* und *Mnium cuspidatum* musterte ich viele Antheridien, die zum Theil sogleich beim Einbringen in Wasser ihren Inhalt entleerten, deren Samenfäden auch in den Mutterzellen sich bewegten, jedoch niemals frei wurden¹⁾. Welche Umstände hierbei ins Gewicht fallen, weiß ich nicht zu sagen; jedenfalls hatten viele der untersuchten Antheridien einen möglichst hohen Grad der Reife erlangt. So wird man in der That auch in Erwägung ziehen müssen, ob die Samen-

1) SCHIMPER, Recherches sur l. mousses 1848. p. 54 sah überhaupt niemals Samenfäden aus ihren Mutterzellen sich befreien.

fäden mancher Laubmoose, ohne ihre Mutterzelle zu verlassen, auf irgend eine Weise zu den Archegonien gelangen, um vielleicht hier durch irgend eine Wechselwirkung in Freiheit gesetzt zu werden.

VI. Lebermoose.

Die Samenfäden von *Marchantia polymorpha* werden, wie schon STRASBURGER¹⁾ fand, von der aus dem Archegonium dieser Pflanze entleerten Masse entschieden angezogen. Dagegen verhielten sich dieselben in meinen Versuchen indifferent gegen alle geprüften Stoffe und es muss also wohl ein weniger verbreiteter Pflanzenstoff das spezifische Reizmittel der Samenfäden von *Marchantia* sein. War auch wesentlich nur *Marchantia polymorpha* mein Versuchsobjekt, so dürfte doch wohl dasselbe allgemein für die Lebermoose gelten, da ich auch für die den Jungermanniaceae zugehörige *Radula complanata* wenigstens soviel constatirte, dass die aus dem geöffneten Archegonium hervortretenden Stoffe die Samenfäden dieser Pflanze anziehen, während sich diese gegen Grasdecoct indifferent verhielten.

Die Samenfäden von *Marchantia polymorpha* erhält man leicht in Menge, indem man den männlichen hutförmigen Blütenstand mit Wasser in Berührung bringt. Reife Antheridien entleeren dann die Mutterzellen, aus welchen nach einiger Zeit der verhältnissmäßig kleine Samenfaden sich frei macht, welcher bekanntlich einen stabförmigen, wenig gekrümmten und gewundenen Körper und am vorderen Ende dieses zwei lange Cilien besitzt. Dieses vordere Ende geht in der Bewegung voraus, in welcher diese Samenfäden relativ langsam, doch eher etwas schneller als die von *Funaria* fortrücken. Da in den schon zuvor entleerten, am Hut haftenden Inhaltsstoffen der Antheridien sich öfters Bakterien zahlreich einfanden, die, indem sie in gewisse Capillarflüssigkeiten massenhaft eindringen, störend in die Beobachtung eingreifen, thut man gut, den Hut zuvor schnell mit Wasser abzuwaschen und abzupinseln.

Bringt man zu in Wasser vertheilten Samenfäden einen Längsschnitt aus dem weiblichen Hut von *Marchantia* mit weiblichen Geschlechtsorganen, so ist es nicht schwer, ein geöffnetes Archegonium zu finden, in dessen aus dem geöffneten Halse entleerte schleimige Masse Samenfäden reichlich eindringen, so dass eine Anhäufung vor dem Archegonium entsteht, in dessen Halskanal sicher ziemlich viele Samenfäden ihren Weg finden. Da die reifen Archegonien sich sogleich beim Einbringen in Wasser öffnen, so gelingt die direkte Beobachtung des Öffnens eines Archegoniums nur, in-

1) Jahrbücher f. wiss. Bot. 1869—70. Bd. 7. p. 418.

dem man sogleich nach dem Eintragen des Schnittes in Wasser das Objekt mustert. Leichter als auf diese Weise kommt man zum Ziele, wenn man die Schnitte aus weiblichen Hüten zunächst in eine $\frac{3}{4}$ bis 1 prozentige Salpeterlösung bringt und diese durch Wasser ersetzt, während man ein reifes Archegonium beobachtet, dessen Scheitel dann bald nach dem Entfernen der osmotisch wirksamen Lösung aufreißt.

Um Stoffe auf ihre anziehende Wirkung zu prüfen, wurden jene, in der beschriebenen Weise, in eine Glascapillare gefüllt (deren Weite 0.05 bis 0.07 mm betrug), zu den Samenfäden gebracht. Die Entscheidung, ob ein bestimmter Körper eine schwache Anziehung auf die Samenfäden von *Marchantia* ausübt, ist aber hier nicht immer leicht. Es hängt dieses damit zusammen, dass diese Samenfäden in dem Streben nach gleichmäßiger Vertheilung auch in die Capillare eindringen, während die Samenfäden von Farnen und von *Marsilia* nur höchst einzeln und auch die der Laubmoose nur relativ spärlich in eine mit Wasser gefüllte Capillare gelangen. Der erwähnten Eigenschaft halber schwärmen also die Samenfäden von *Marchantia* auch in eine mit Wasser erfüllte Capillare und finden sich, wenigstens im unteren Theil der Capillare, nicht selten ungefähr ebenso reichlich oder wenigstens in nicht viel geringerer Zahl als in dem umgebenden Wasser. Dabei gelangen naturgemäß von den nach allen Richtungen steuernden Samenfäden immer neue in die Capillare, während andere sich aus dieser entfernen, und wenn nun dieses Entfernen aufgehoben oder eingeschränkt wird, so ist eine Anhäufung der Samenfäden in der Capillare eine nothwendige Folge. Ein solche Anhäufung tritt somit ein, sobald die Capillarflüssigkeit die Samenfäden zurückhält, sei es mechanisch, sei es indem sie die Samenfäden tödtet oder auch nur ihre Bewegung so stark hemmt, dass nur relativ wenigen es gelingt, die Capillare zu verlassen.

Das oben Gesagte fand bei den verschiedensten Versuchen seine Bestätigung. Verwandte ich z. B. eine Capillare, die eine Lösung mit 0.04 Proz. Quecksilberchlorid enthielt, so wurde die Bewegung der eingedrungenen Samenfäden ziemlich schnell verlangsamt und nach 4 bis einigen Minuten waren sie todt, nach 10 Minuten und noch mehr nach 20 Minuten war aber eine erhebliche Anhäufung von Samenfäden in der Capillare eingetreten. Das gleiche Resultat wurde erhalten, wenn die Capillarflüssigkeit 10 Proz. Kalinitrat, oder 12 Proz. Natronsulfat oder 20 Proz. Rohrzucker enthielt, obgleich die durch ihre Concentration die Samenfäden bald tödtenden Stoffe auf letztere keine anziehende Reizwirkung ausübten. Denn einmal wurden die in der Nähe vorbeistuernden nicht von ihrer Bahn abgelenkt, und in die Capillare gelangten so nur Samenfäden, deren Weg ohnehin dorthin führte; ferner drangen auch in eine Capillare, welche nur 0.4 Proz. Salpeter oder 0.2 Proz. Rohrzucker enthielt, nicht mehr Samenfäden ein, als in eine mit Regenwasser gefüllte Capillare. Wie obige Lösungen, bringt aber jeder beliebige Stoff eine Ansammlung hervor, sofern er genügend concen-

trirt angewandt wird und dieses ist um so mehr bei Prüfung von Lösungen auf ihre anziehende Wirkung zu beachten, als z. B. schon bei einem Gehalt der Capillarflüssigkeit von 4 Proz. Salpeter eine merkliche Ansammlung der Samenfäden eintritt.

Die Zahl der in eine Capillare, ohne eine anziehende Wirkung seitens des Inhaltes, eintretenden Samenfäden, hängt natürlich wesentlich ab von der Menge der Samenfäden in der umgebenden Flüssigkeit. Waren diese reichlich gehäuft, so dass bei 430 facher Vergrößerung das Dunkelfeld des ABBE'schen Beleuchtungsapparates mit leuchtenden Körperchen, den Samenfäden, ganz durchsäet war, so kamen gelegentlich förmliche Pfropfen von Samenfäden nahe an der Mündung in einer 40 Proz. Kalisalpeter enthaltenden Capillare zu stande. Spärlich oder kaum merklich fiel diese Anhäufung aus, wenn gleichzeitig nur wenige Samenfäden bei 430 facher Vergrößerung sich in dem Gesichtsfeld befanden.

Übrigens spielen bei dieser Anhäufung naturgemäß eine Reihe von Umständen eine Rolle und so kann es nicht wundern, dass in zwei aufeinanderfolgenden Versuchen das Resultat nicht übereinstimmt, ja ich habe beobachtet, dass von zwei gleichweiten Capillaren, die mit 40 prozentiger Salpeterlösung gefüllt zu den Samenfäden von *Marchantia* nahe bei einander unter dasselbe Deckglas gebracht wurden, die eine eine große Anhäufung, die andere eine nur geringe Zahl von Samenfäden enthielt. Ohne die eingreifenden Faktoren, wie Wasserströmungen, durch welche die Samenfäden nach einer Seite hin fortgerissen werden u. s. w., einer näheren Darlegung zu unterziehen, will ich hier nur auf einen Punkt hinweisen, der sich auf die Vertheilung der Samenfäden in dem Wasser des Objektträgers bezieht. Wenn nämlich die im Augenblick herumschwärmenden Samenfäden gleichmäßig vertheilt erscheinen, liegen häufig noch Ballen unentleerter Mutterzellen zusammen, die weiterhin allmählich ihre Samenfäden entlassen, welche von diesem Punkte ausstrahlend auch einer benachbarten Capillaröffnung eine größere Zahl von Samenfäden zusenden können.

Aus obigen Erwägungen ergibt sich auch die Basis für das methodische Vorgehen beim Prüfen von Stoffen hinsichtlich ihrer anziehenden Wirkung auf Samenfäden von *Marchantia* und für die Beurtheilung der beobachteten Thatsachen. Eine annähernd gleichmäßige Vertheilung der Samenfäden und unentleerten Mutterzellen im Wasser erreicht man, indem man das auf einem Papierstreifen aufliegende Deckglas unter entsprechendem Druck hin und her schiebt. Wird dann weiterhin ansehnlichen Wasserströmungen vorgebeugt, so wird die einmal gewonnene, annähernd gleichmäßige Vertheilung nicht so leicht gestört, denn die Partiärpressung des Sauerstoffs wirkt nicht als Richtungsreiz und so kommt dieserhalb nicht, wie es bei *Bakterien* zutrifft, eine Ansammlung der Samenfäden um Luftblasen oder gegen den Rand des Deckglases hin zu stande.

Weiter empfiehlt es sich, zu den Versuchen Wasser zu wählen, in welchem sich eine nur beschränkte Zahl von Samenfäden befindet, denn gelangt, bei viel Samenfäden in der Umgebung, eine absolut große Zahl dieser in die Capillare, so wird damit die Beurtheilung, ob eine Anhäufung stattfand, erschwert. Zu gering darf aber wieder die Zahl der Samenfäden in dem Wasser nicht werden, weil sonst, bei der nur mäßigen Schnelligkeit dieser, eine zu beschränkte Zahl in die Nähe der Capillaröffnung geräth. Ferner ist eine zu hohe, die Samenfäden hemmende oder tödtende Concentration der Capillarflüssigkeit thunlichst zu vermeiden, und jedenfalls darf die Ansammlung der Samenfäden in einer mit Flüssigkeit gefüllten Capillare nicht schlechthin als Maßstab der Beurtheilung herbeigezogen werden.

Würde es nun auch bei richtiger Versuchsanstellung leicht sein, eine energische Anziehung seitens der Capillarflüssigkeit zu constatiren, so ist es doch schwer darüber Sicherheit zu gewinnen, ob eine ganz schwache Anziehung ausgeübt wird. Und da bei solcher die Ablenkung der in die Anziehungssphäre gelangenden Samenfäden nicht so plötzlich und präcis eintritt, kann auch aus den auf diese Ablenkung zielenden Beobachtungen an einem Samenfaden nur schwer oder auch gar nicht auf eine schwache Ablenkung geschlossen werden.

Thatsächlich beobachtete ich bei keinem der geprüften Stoffe eine zweifellose Anziehung, und wenn es zuweilen schien, als ob die Abkochung von *Marchantia* in höherer Concentration eine schwache richtende Reizwirkung ausübte, so kam ich doch zu keinem bestimmten Resultate. Denn diese Anziehung, wenn überhaupt vorhanden, war jedenfalls minimal und schien nur bei höherer Concentration einzutreten, bei welcher die in die Capillare gelangenden Samenfäden schnell ihren Tod fanden, während bei größerer Verdünnung des Decocts sicher die Samenfäden sich gegen die Capillarflüssigkeit, wie gegen Wasser verhielten. Es könnte sich also nur darum handeln, ob sich in dem Decocte eine kleine Menge eines Reizmittels fände, und vielleicht gelingt eine Entscheidung besser, wenn die Abkochung nicht, wie die von mir benutzte, aus Thalluslappen mit nur wenigen weiblichen Hüten, sondern allein aus weiblichen Hüten hergestellt wird. Denn in dem Archegonium existirt ja augenscheinlich ein spezifisches Reizmittel der Samenfäden, von dem man freilich nicht wissen kann, ob es in das Decoct übergeht, und wenn, ob es nicht allein in dem Archegonium vorhanden ist.

Der Saft, welcher durch Auspressen der mit etwas Wasser zerstampften Thalluslappen von *Marchantia* gewonnen war, übte keine deutlichere Anziehung als das Decoct aus; ebenso war keine Reizwirkung zu bemerken, als Schnitte aus dem Thallus von *Marchantia* in der früher (p. 413) beschriebenen Weise zu den Samenfäden gebracht wurden. Auch gegen die ausgekappten Haaren von *Urtica dioica* und *Heracleum sphondylium* hervor-

tretende Masse verhielten sich die Samenfäden von *Marchantia* indifferent, ebenso gegen die Stoffe, welche sich beim Öffnen aus dem Archegonium von *Leptobryum pyriforme* und *Mnium cuspidatum* entleerten. Dieser Umstand zeigt zugleich, dass offenbar nicht mechanische Hemmung in dem aus dem Archegonium von *Marchantia* entleerten Schleime die Ursache einer Anhäufung der Samenfäden in diesem ist. Zudem lehrt die Beobachtung, dass von den geöffneten Archegonien von *Marchantia* die Samenfäden direkt angezogen werden.

Hiernach muss also das spezifische Reizmittel der Samenfäden von *Marchantia* ein Stoff sein, welcher im Pflanzenreich nur vereinzelt oder doch zumeist in einer zu geringen Menge vorkommt, um seine Wirksamkeit auf jene Samenfäden zur Geltung zu bringen.

Da die Spermatozoiden von *Radula complanata* sich gegen ein Decoct aus *Marchantia* und ebenso aus Gras wie die Samenfäden von *Marchantia* verhielten, dürfte wohl dasselbe Reizmittel für die Samenfäden aller Lebermoose gelten.

In Kürze sei nur noch bemerkt, dass ich die Samenfäden von *Marchantia polymorpha* indifferent fand gegen die auf Seite 444 unter I, II, III genannten Gemische von organischen Säuren, Kohlehydraten und stickstoffhaltigen Körper; ferner gegen Pepton, Fleischextrakt, Salicin, Glycyrrhizin, gegen Grasdecoct und Abkochung von Mutterkorn. Letztere wählte ich, um Trehalose, die im Mutterkorn vorkommende Zuckerart, der Prüfung zu unterziehen.

VII. Chara.

Für *Chara* lassen zwar schon die Beobachtungen DE BARY's eine anziehende Wirkung der geöffneten Eiknospe auf die Samenfäden vermuthen, doch habe ich unter den von mir geprüften Stoffen kein Reizmittel für die Samenfäden von *Chara* entdeckt.

Wie DE BARY¹⁾ gezeigt, beginnt in der der Empfängnisfähigkeit entgegen gehenden Eiknospe unterhalb des 5 zelligen Körnchens ein Wachstum der anstoßenden Zone der 5 Hüllschläuche, das endlich dahin führt, dass zwischen diesen sich 5 seitlich geöffnete Spalten bilden, die nach innen in den zur Eizelle führenden Kanal sich fortsetzen. Diesen Kanal, sowie die nach außen führenden Spalten sind mit sehr weicher, klebriger, hyaliner, gallertartiger Masse angefüllt, welche auch außerhalb noch diese Zone der Eiknospe umgiebt. Öffnete sich die Eiknospe, während Samenfäden in dem umgebenden Wasser vorhanden waren, so fanden sich diese nach einiger Zeit sehr reichlich in der besagten Zone. Zum Theil waren

1) Monatsb. d. Berliner Akademie 1874. p. 233.

die Samenfäden in dem außerhalb der Spalten befindlichen gallertartigen Schleime hängen geblieben, zahlreiche waren aber in und durch die Spalten bis in den inneren Kanal eingedrungen, in welchem sie sogar öfters knäuelartig gehäuft gefunden wurden.

Ich suchte nun noch direkt zu verfolgen, wie die aus den sich öffnenden Eiknospen hervortretende Masse auf die Samenfäden wirkt. Diese erhält man leicht in Menge, indem man möglichst reife Antheridien in Wasser zerdrückt, worauf nach 5 bis 20 Minuten Samenfäden den Mutterzellen zu entschlüpfen beginnen und in einem freien Wassertropfen einige Stunden sich in Bewegung erhalten. In dieser rücken mit mäßiger Schnelligkeit diese Samenfäden fort, welche bekanntlich korkzieherartig gewunden und am vorderen Ende mit 2 langen Wimpern besetzt sind¹⁾.

Um nun die Eiknospe unter meinen Augen sich öffnen zu sehen, stellte ich Pflanzen von *Chara fragilis* Desv. — auf welche sich alle meine Untersuchungen beziehen — so in einen Cylinder ins Wasser, dass über Wasser, aber in dampfgesättigter Luft sich der Blattquirl befand, welcher dem Öffnen ganz nahe stehende Eiknospen trug. Nach 3 bis 4 Tagen in Wasser gebracht, öffnete sich der vorerwähnte Spalt unterhalb des Körnchens der Eiknospe unter meinen Augen und ich konnte hierbei das Austreten eines hyalinen gallertartigen Schleimes verfolgen, der, wie an dem Wegschieben kleiner Körperchen bemerklich wurde, mindestens 0.02 mm weit aus dem Spalte hervordrang.

Bald war dann eine größere Zahl der im umgebenden Wasser befindlichen Samenfäden in dem Gallertschleime vereinigt, von dem indess zwar eine gewisse, doch keine ansehnliche anziehende Wirkung auf die Samenfäden ausging. Denn während manche der in der Nähe des Schleimes vorbei schwärmenden Samenfäden ihren Weg nach diesem hin änderten, gingen andere indifferent vorbei. Die auf den Schleim treffenden Samenfäden wurden fast sämtlich festgehalten und so würde selbst ohne eine anziehende Reizwirkung in einiger Zeit eine größere Zahl von Samenfäden hier vereinigt worden sein. Ich möchte auch glauben, dass die Bedeutung des anlockenden Reizmittels hier weniger darin besteht, die Samenfäden bis an den Schleim zu locken, sondern die an diesen gelangten zum Fortschreiten in den Spalt und Binnenkanal bis zur Eizelle zu veranlassen. Ich vermuthe dieses, weil bei der submersen Lebensweise von *Chara* ein diffundirendes Reizmittel nach dem Austritt aus dem gallertartigen Schleime schnell von dem umgebenden Wasser entfernt wird, und ferner, weil auch dann gut sich Samenfäden in dem Schleime der Eiknospe ansammeln, wenn dessen anziehende Wirkung nicht mehr zu bemerken ist. Es war dieses der Fall, als ich eine geöffnete Eiknospe 2 Tage lang in viel Wasser hielt und nun erst Samenfäden zu derselben brachte. Diese sammelten sich auch

1) Vgl. z. B. die Abbildg. bei GOEBEL, Grundzüge d. Systematik 1882. p. 65.

jetzt noch sehr reichlich an, ohne dass an irgend einem Samenfaden eine Ablenkung von der Bahn zu bemerken gewesen wäre.

Ist obige Annahme richtig, so hätten wir also hier bis zu einem gewissen Grade ein ähnliches Verhältniss wie bei Marsilia, bei der die Gallert-hülle der Makrospore nur zum Festhalten der zufällig auftreffenden Samenfäden dient und die im Schleimtrichter gefangenen, dann beim Öffnen des Archegoniums in dieses durch ein Reizmittel gelockt werden. Bei Chara fiele nur Entleerung des Schleimes und des Reizmittels zusammen, doch ist auch schon vor dem Öffnen die Eiknospe klebrig genug, um eine gewisse Zahl von Samenfäden festzuhalten. Solches Festhalten findet man aber auch zuweilen reichlich an manchen Stellen von Blattstielen und Internodien und überhaupt haften die Samenfäden von Chara leicht in schleimigen Massen. Auch in der Schleimsphäre eines Schnittes aus der Samenschale von *Linum usitatissimum* waren nach einiger Zeit Samenfäden von Chara reichlich angesammelt, obgleich eine direkt anlockende Wirkung sicher nicht bestand.

Bei den oben mitgetheilten Experimenten drangen die Samenfäden zumeist nicht tief in den Schleim ein, um dann allmählich zur Ruhe zu kommen, und nur ganz vereinzelt kam ein Samenfaden bis in den Spalt zwischen den Hüllschläuchen des Archegoniums. Da ich aber, übereinstimmend mit den Beobachtungen DE BARY's, in den stets unter Wasser gebliebenen und unter normalen Verhältnissen befruchteten Eiknospen bis in den Binnenkanal dieser Samenfäden vorfand, so dürfte obiges Resultat wohl eine Folge davon sein, dass der Schleim der in der Luft gehaltenen Eiknospe etwas weniger quellungsfähig war, resp. etwas mehr Widerstand den Samenfäden entgensetzte.

Da nach der oben mitgetheilten Beobachtung die gleich nach dem Öffnen der Eiknospe vorhandene, wenn auch schwach anziehende Wirkung auf die Samenfäden durch Liegen in Wasser verloren geht, dürfen wir vermuthen, dass auch hier das Reizmittel ein gelöster Körper ist, dessen Natur ich freilich nicht erkennen konnte. Gegen die folgenden, in Glas-capillaren von 0.07 bis 0.09 mm Weite zugebrachten Stoffe verhielten sich die Samenfäden von *Chara fragilis* indifferent: Abkochung von *Chara fragilis* in verdünntem und concentrirtem Zustand, ebenso gegen Grasdecoct, ferner gegen die auf Seite 444 unter I, II und III aufgeführten Gemische, sowie gegen Fleischextrakt. Auch übte keine anziehende Wirkung der Inhalt der Zelle eines Blattstrahles von Chara aus, der quer durchschnitten zu den Samenfäden gebracht wurde.

VIII. Gameten und Volvocineen.

Von Pflanzen mit nicht different gestalteten Sexualzellen untersuchte ich die Isogameten von *Chlamydomonas pulvisculus* (MÜLL.) und *Ulothrix zonata*, ohne indess eine anziehende Wirkung dieser aufeinander bemerken zu können und ohne unter den geprüften Stoffen einen Körper zu finden, der eine anziehende Wirkung ausübte.

Die Gameten von *Chlamydomonas pulvisculus* erhält man leicht massenhaft, indem man diese Alge auf nassem Torf cultivirt und diesen dann in Wasser bringt. Die so gewonnenen flinken Gameten copulirten zahlreich, indem sie mit dem hyalinen Vorderende mit der Spitze oder seitlich zusammenstießen und bald zu einem Ganzen sich vereinigten¹⁾. Dieses Zusammenstoßen scheint aber ganz dem Zufall überlassen zu sein, denn die Gameten steuern ohne jede merkliche gegenseitige Anziehung aneinander vorbei und treffen sich nur, sofern ihre Bahn sie zufällig zusammenführt. Ich versuchte auch noch, ob vielleicht durch das Zusammenwirken vieler Gameten eine Anziehung zu erreichen sei, indem ich in eine dichte Masse dieser Mikrozoosporen einen kleinen Abschnitt aus der Samenschale von *Linum usitatissimum* brachte und, nachdem viele Mikrozoosporen festgeklebt waren, die umgebenden freien Gameten zum größten Theil wegusch. Auch jetzt wurden Gameten, die in der Nähe dieser zahlreichen fixirten Mikrozoosporen vorbeischwammen, nicht im mindesten von ihrer Bahn abgelenkt.

Die Ausscheidung eines anziehenden löslichen Reizmittels muss in der That auch nicht sehr vortheilhaft dünken für diese das Wasser durcheilenden Schwärmer, die ja doch sich immer sogleich von dem ausgeschiedenen anziehenden Körper entfernen würden. Bei dem flinken Durcheilen des Wassers, im Verein mit den die Gameten nach gleichem Ziele treibenden phototaktischen Wirkungen des Lichtes ist in der That auch die Wahrscheinlichkeit groß, dass in einem Heere von Mikrozoosporen einzelne zusammenrennen. Dann aber müssen allerdings Einrichtungen geboten sein, welche zunächst ein Festhalten und weiter ein Verschmelzen in der Copulation bedingen, die ja in jedem Falle von ganz spezifischen gegenseitigen Verhältnissen der Contrahenden abhängt. Denn es copuliren ja nur die Gameten derselben Pflanzenart und selbst diese sind copulationsunfähig bei *Dasycladus*²⁾, wenn sie

1) Die Pflanze, welche ich als *Chlamydomonas pulvisculus* (MÜLL.) bestimme, vollzieht die Copulation wesentlich in der von L. REINHARDT beschriebenen Weise (Botan. Jahreshb. 1876. IV. p. 48). — GOROSHANKIN'S abweichende Angaben (ebenda 1875. III. p. 34) lassen sich nur dadurch erklären, dass dieser eine andere Pflanze vor sich hatte.

2) BERTHOLD, Bot. Ztg. 1880. p. 650.

von demselben Individuum, bei *Acetabularia*¹⁾ und *Ulothrix*²⁾, wenn sie in demselben Gametangium erzeugt wurden. Welche Faktoren hierbei maßgebend sind, lässt sich zur Zeit nicht sagen, wahrscheinlich ist aber, dass es sich nicht oder wenigstens nicht allein um Consistenz, Klebrigkeit und einfache physikalische Qualität handelt, sondern um gegenseitige Reizwirkungen aufeinander, die in ihrem Zustandekommen und Erfolge naturgemäß dann von der spezifischen Qualität des Organismus abhängen. Als eine solche spezifische Reizwirkung steht ja u. a. auch die Beobachtung JURÁNYI'S³⁾ da, nach welcher bei *Oedogonium diplandrum* der Contact des Samenfadens erst den zur Aufnahme dieses dienenden Empfängnissfleck der Eizelle entstehen lässt. Diese schwierigen hier obwaltenden Fragen hier weiter zu discutiren, kann nicht in meiner Absicht liegen, um so weniger, als doch nur stufenweise durch empirische Beobachtungen einiges Licht in die hier obwaltenden Vorgänge gebracht werden kann.

Bemerken will ich hier nur, dass ich auch an den Mikrozoosporen von *Ulothrix zonata*⁴⁾, während sie reichlich copulirten, nichts bemerken konnte, was auf eine gegenseitige Anziehung derselben hingewiesen hätte.

Gameten, sowie ungeschlechtliche Individuen von *Chlamydomonas pulvisculus* schwammen auch völlig indifferent an dem aus dem Archegonium der Farne entleerten Inhalt vorbei. Ebenso übten auf jene und auf die Gameten von *Ulothrix zonata* keine Anziehung aus *Grasdecoct* und die auf Seite 444 unter I, II, III genannten Gemische, welche in Capillaren eingefüllt zu diesen Objekten geschoben wurden.

Anschließend soll hier einer Ansammlung in Schleimmassen gedacht werden, die in gewissem Grade auch obige Gameten, in auffallender Weise aber die geschlechtslosen Individuen von *Pandorina morum*, etwas weniger die von *Gonium pectorale* und noch weniger die von *Chlamydomonas pulvisculus* bieten. Letztere Pflanze müssen wir aber dann noch mit Rücksicht auf die Reizbarkeit ihrer Cilien besprechen.

Die oben genannten Volvocineen vertheilen sich im Dunkeln gleichmäßig in der ruhenden Wasserschicht einer Schale, bei einseitiger Beleuch-

1) DE BARY UND STRASBURGER, *ibid* 1877. p. 749. Nach den Beobachtungen STRASBURGER'S scheint hier eine Anziehung der untereinander copulationsfähigen Schwärmer aufeinander zu bestehen.

2) DODEL, *Jahrb. f. wiss. Bot.* 1876. Bd. 10. p. 502.

3) *Jahrb. f. wiss. Bot.* 1873—74. Bd. 9. p. 17.

4) Über die Copulation dieser Mikrozoosporen vgl. DODEL, *Jahrb. f. wiss. Bot.* 1876. Bd. 10. p. 492. — Die Pflanze ist in Bächen um Tübingen häufig, und so stand mir reichlichstes Material zur Verfügung, indem ich im Frühjahr einige der Algen tragenden Steine nach Hause transportiren ließ. In einem kühlen Zimmer war dann öfters der ganze Lichtrand der Schale mit einem aus Zoosporen bestehenden grünen Saume nach 12 bis 24 Stunden überzogen.

tung aber führt die phototaktische Reizbarkeit Ansammlungen am Licht- oder Schattenrand herbei. Nach letzterem sind diese Volvocineen, sowie die Schwärmsporen¹⁾, durch genügend intensives Licht immer zu treiben, bei Abschwächung des Lichtes wandert dann aber *Pandorina* zumeist zeitiger dem Lichte entgegen als das auf niedrigere Lichtintensität gestimmte *Gonium*, so dass auf diese Weise, wenigstens in dem von mir benutzten Materiale, beide Arten fast gänzlich von einander getrennt werden konnten.

In jeder fortschreitenden Bewegung geht bekanntlich bei den mit 2 Wimpern versehenen Schwärmern, und so auch bei *Chlamydomonas* das bewimperte Ende voraus. Ebenso trifft dieses zu für das aus 16 Individuen gebildete viereckige Täfelchen von *Gonium pectorale*, das sich während seiner fortschreitenden Bewegung abwechselnd links und rechts um seine senkrecht auf der Fläche des Täfelchens stehende Hauptachse dreht, die zugleich die Bewegungsachse der Colonie ist²⁾. Bei denjenigen Colonien von *Pandorina morum*, welche deutlich ellipsoidisch gestaltet sind, fällt die längere Achse des Ellipsoides mit der Bewegungsrichtung zusammen oder ist auch gegen diese etwas geneigt, so dass jene Ellipsoidachse, da auch der Körper von *Pandorina* um seine Achse rotirt, eine schraubige Fläche beschreibt. So wenigstens liegt die Sache, wenn *Pandorina* völlig frei schwimmt, während beim Anstoßen häufig Überschlagungen vorkommen.

Bringt man in ein Schälchen, dessen flache Wasserschicht reichlich *Pandorina morum* enthält, einen Quittensamen, so bemerkt man um den hervorgequollenen Schleim dieses bald einen grünen Saum, der von festgehaltener *Pandorina* herrührt, und unter Umständen kann der bei weitem größte Theil der im Wasser vorhandenen Exemplare auf diese Weise gefangen werden. Dasselbe ist auch unter dem Mikroskop zu verfolgen, indem man ein Stückchen der Samenschale des Leins oder der Quitte unter Deckglas giebt, das behufs freier Bewegung von *Pandorina* auf Papierstreifchen gelegt ist. Hier ist nun leicht zu sehen, dass nur die Exemplare in den Schleim gerathen, deren Bewegungsbahn sie ohnehin dorthin führt, von irgend einer anlockenden Wirkung aber keine Rede ist. Freilich macht es im ersten Augenblick den Eindruck, als ob der Schleim wie ein Anziehungscentrum wirkte, doch das ist ja begreiflich, wenn, wie es besonders bei Beginn des Versuches zutrifft, fast jede anstoßende *Pandorina* haften bleibt, also nach dem Schleime viele, von diesem hinweg fast keine Exemplare steuern³⁾.

1) Vgl. STRASBURGER, Wirkung des Lichtes und der Wärme auf Schwärmsporen 1878. p. 22.

2) Vgl. COHN, Nova Acta Academ. Cäsar. Leopold. 1854. Bd. 24. Abth. 1. p. 180.

3) Mit der Sistirung der Bewegung von *Pandorina* hört natürlich die Ansammlung auf; so z. B. wenn man etwas Chloroform zugiebt. Auch wenn man soviel Salpeterlösung zusetzt, dass die Flüssigkeit etwa $\frac{1}{2}$ Proz. enthält, ist die Bewegung von *Pandorina* nach

Pandorina sammelt sich also aus dem gleichen Grunde in dem Schleime an, wie die Samenfäden von Marsilia in der Gallerthülle der Makrospore dieser Pflanze. Da also nur das Auftreffen auf den Schleim entscheidend ist, so ist klar, dass alles, was dieses begünstigt, auch die Ansammlung begünstigt und dass diese z. B. beschleunigt wird, wenn man durch entsprechende Drehungen der Schale oder des Objektträgers die phototaktisch empfindliche Pandorina auf einer den Schleimkörper treffenden Bahn hin und zurück wandern macht.

Ebenfalls nur das mechanische Festhalten bewirkt, dass in einer 0.2 bis 0.4 mm weiten Capillare, die mit dickem Traganthschleim gefüllt zur Pandorina gebracht wird, eine gewisse Ansammlung dieser eintritt. Eine solche erzielt man aber auch z. B., indem man unter Deckglas ein minimales Stückchen von Jod bringt, um das herum sich dann eine Sphäre der durch Tödtung festgehaltenen Pandorina bildet.

Die reichliche Ansammlung in schleimigen Massen beruht darauf, dass diese verhältnissmäßig leicht die fortschreitende Bewegung von Pandorina hemmen und aufheben. Die Wimpern bewegen sich sofort mit dem Eintritt in den einen mechanischen Widerstand bietenden Schleim viel langsamer und vermögen die relativ schwere Colonie wohl noch etwas hin und herzuschieben, ohne dass, wenigstens zumeist, die Bewegungskraft ausreicht, sie dem Schleime zu entreißen. Dies gelingt gewöhnlich auch nicht, wenn in dichtem Schleime zeitweise die Wimpern ruhen, um dann mit frischen Kräften ihre Bewegung aufzunehmen.

Die im Verhältniss größere Bewegungskraft erklärt zur Genüge, warum z. B. die flinkeren Schwärmer von Ulothrix oder Infusorien in demselben Schleime weniger oder nur ausnahmsweise festgehalten werden. Reichlicher dagegen sammelt sich wieder Gonium pectorale im Leinsamen- und Quittenschleim, und wenn es sich allmählicher anhäuft als Pandorina, so beruht dieses wenigstens zum Theil darauf, dass seine Bewegung langsamer ist und somit relativ seltener Exemplare an den Schleim anstoßen.

Bei Chlamydomonas pulvisculus kommt noch ein anderes Moment in Betracht, nämlich eine Reizbarkeit der Wimpern, welche auch für die Ansammlung in Schleim Bedeutung hat. Die Wimpern dieser Pflanze sind nämlich gegen verschiedene Einflüsse, so für Contact mit festen und weichen Körpern, und für einen schnellen Übergang in concentrirtere Lösung empfindlich und zwar hat der Reiz zur Folge, dass, während die Bewegungsthätigkeit plötzlich sistirt wird, die zwei Wimpern von anderthalbfacher Körperlänge sich gerade strecken. In einem spitzen Winkel divergirend, verharren die Wimpern eine bis höchstens einige Sekunden in dieser Ruhe-

einiger Zeit so weit gehemmt, dass sich die meisten Exemplare zu Boden setzen. Ebenso erreicht man dieses durch Einbringen in destillirtes Wasser, dessen schädlicher Einfluss auf Schwärmsporen schon durch STRASBURGER bekannt ist.

lage, um dann ihre frühere Bewegung wieder aufzunehmen. Durch dieses Ausstrecken prallt aber *Chlamydomonas* zurück, insbesondere wenn sich die Wimpern dabei gegen einen festen Körper stemmen, und mit diesem Zurückprallen wird gewöhnlich eine gewisse Drehung der Hauptachse erreicht, die mit der Achse der fortschreitenden Bewegung zusammenfällt. Dann steuert, mit Wiederaufnahme der Bewegung, *Chlamydomonas* nach entsprechend anderer Richtung, und wenn er auch jetzt wieder den als Reiz wirkenden Körper treffen sollte, so wiederholt sich dasselbe Spiel und so ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass endlich *Chlamydomonas* dem ihn reizenden Gegenstand ausweicht.

Dass die Wimpern sensibel sind, erkennt man, wenn man das Anstoßen an Fäden, Papierstreifchen oder irgend welche feste Körper verfolgt. Denn dann ist oft klar zu sehen, wie die Reizung erfolgt, während nur die Wimpern den fremden Gegenstand berühren, der Körper von *Chlamydomonas* aber bis zu seinem eigenen Durchmesser von dem als Reiz wirkenden Gegenstand absteht.

Wie durch einen festen Körper, erfolgt die Reizung aber auch durch den Schleim von Leinsamen, Traganth u. s. w., sowie durch Lösungen von arabischem Gummi, Zucker, Salpeter u. s. w. Bringt man z. B. an den Rand des Deckglases ein Stückchen Zucker, so gerathen die nach diesem hinsteuern den Individuen von *Chlamydomonas* in die unter das Deckglas dringende Lösung dieses Stoffes und zucken gereizt zusammen, noch ehe sie den Rand des Deckglases erreichen. Ebenso kann man aus dem Zusammenzucken von *Chlamydomonas* in der Nähe der Öffnung von Glascapillaren, die concentrirtere Lösung von Salpeter, Zucker oder anderen Stoffen enthalten, ersehen, dass der Übergang in ein concentrirtes Medium allgemein als Reiz wirkt. Diese Reizung erfolgt aber in verschiedener Entfernung von der Capillare, und hiermit ist also die individuell verschiedene Empfindlichkeit von *Chlamydomonas* angezeigt.

Außer Contact und Concentration wirken offenbar verschiedene äußere Einflüsse, aber nur durch ihren Wechsel, als Reiz auf *Chlamydomonas*. Denn wenn z. B. die Wimpern an einem festen Körper haften bleiben, so beginnen sie gleich nach der Reizung wieder ihre Bewegungen¹⁾, die sie nun dauernd fortsetzen, und in einer 6 prozentigen Lösung von arabischem Gummi bewegte sich *Chlamydomonas* verlangsamt, aber dauernd weiter, obgleich diese Lösung diejenigen Individuen reizte, welche aus Wasser in sie steuerten. Es ist also hier der Wechsel als solcher ein Reiz, in analoger Weise, wie z. B. bei *Mimosa* eine plötzliche starke Schwankung der Beleuchtung oder der Temperatur, nicht aber ein langsamerer Übergang, eine Reizbewegung auslösen kann.

1) Auf diesem Umstand, der Gewöhnung an den Reiz, beruht es offenbar auch, dass sich *Chlamydomonas* mit fortdauernder Bewegung in einem Gewirr von Baumwollenfäden herumtreiben kann, in welchem die Wimpern sehr oft anstoßen müssen.

Das nicht seltene Zusammenzucken der unter Deckglas befindlichen Individuen von *Chlamydomonas* wird offenbar durch Berührungsreize veranlasst, denn wenn man in einem Glasschälchen frei schwimmende Exemplare beobachtet, erfolgt oft minutenlang keine Reizung. Gelegentlich tritt freilich diese ohne wahrnehmbare äußere Ursache ein. Da aber eine der Beobachtung entgangene Ursache immerhin denkbar wäre, so muss ich dahin gestellt sein lassen, ob vielleicht zuweilen *Chlamydomonas* autonom, d. h. durch innere Vorgänge gereizt, zusammenzuckt, was ja sehr wohl möglich ist und in analoger Weise gelegentlich bei *Mimosa pudica* und, häufig wiederkehrend, bei manchen Infusorien eintritt.

Das beschriebene Zusammenzucken bei Annähern an Leinsamen- oder Quittenschleim bewahrt häufig *Chlamydomonas* vor dem Festrennen in dem Schleime, aus welchem sich diese Pflanze übrigens auch relativ leichter herausarbeitet als *Pandorina*. Immerhin bleiben eine Anzahl Individuen in dem aus einem Schnittchen der Samenschale des Leins hervorquellenden Schleime kleben, und mit der Zeit entsteht so in diesem eine Anhäufung von *Chlamydomonas pulvisculus*. Schwieriger noch werden die flinkeren Gameten dieser Pflanze in dem dichteren Schleime festgehalten, und eine größere Zahl jener konnte ich nur fixiren, indem ich in ein sehr dichtes Gewimmel derselben ein Leinsamenstückchen brachte.

Ein vorübergehendes Stillstehen der Wimpern in Folge der Reizung ist mir, außer für *Chlamydomonas pulvisculus*, für andere vegetabilische Organismen nicht bekannt, denn z. B. die Samenfäden der Farne, der *Marsilia*, der *Moose*, der *Chara*, sowie die Schwärmer von *Ulothrix*, *Cladophora*, die ungeschlechtlichen Individuen von *Gonium*, *Pandorina* u. s. w. stehen in ihrer Bewegung bei Contact mit anderen Körpern nicht stille; dagegen ist bei den Infusorien ein vorübergehender Stillstand der gereizten Wimpern häufiger¹⁾. Empfindlich gegen verschiedene Reize, ohne dass diese gerade vorübergehenden Stillstand der Bewegung erzielen, dürften aber die Wimpern pflanzlicher Organismen allgemeiner sein. Denn die für die Samenfäden der Farne wahrscheinliche Sensibilität gegen Berührung (p. 374) wird wohl auch für andere Samenfäden und Schwärmzellen gelten, und vermuthlich sind die Wimpern noch in manchen andern, wenn auch nicht in allen Reizen die percipirenden Organe.

IX. Rückblick und Hinweis auf andere Fälle.

Ein Rückblick auf die gewonnenen Erfahrungen lehrt, dass in allen untersuchten Fällen die Samenfäden durch einen ausgeschiedenen Stoff,

1) Vgl. z. B. PERTY, Zur Kenntniss kleinster Lebensformen 1852. p. 115.

durch einen chemischen Reiz zu der Eizelle gelockt werden, und es muss wahrscheinlich dünken, dass solches in allen oogamen Befruchtungsvorgängen geschieht, doch wird sich diese Vermuthung erst durch ausgedehnte Untersuchungen zur Gewissheit erheben lassen. Der Mangel einer anziehenden chemischen Reizwirkung bei den copulirenden Zoosporen von *Chlamydomonas* und *Ulothrix*, den einzigen von mir in dieser Hinsicht untersuchten Isogameten, wird wohl auch für viele andere Fälle der Copulation beweglicher Isogameten zutreffen, dürfte aber kaum allgemein für diesen Befruchtungsvorgang gelten. In der That deuten Beobachtungen an *Acetabularia* (p. 442 Anmerkung) auf eine gegenseitige Anziehung der copulationsfähigen Schwärmer hin, und unten sollen noch Beispiele genannt werden, in denen der weibliche Schwärmer, nachdem er zur Ruhe gekommen, augenscheinlich eine anlockende Reizwirkung auf die männlichen Schwärmzellen ausübt. Wir müssen überhaupt nicht vergessen, dass im Pflanzenreich, wie im Thierreich, zur Erreichung des gleichen physiologischen Zweckes Mittel verschiedener Art zur Anwendung kommen, und wenn dieses schon hinsichtlich der Befruchtungsvorgänge für die Phanerogamen gültig ist, bei denen ja bekanntlich die mannigfachsten Einrichtungen bestehen, um mit oder ohne Insektenhilfe den Blütenstaub auf die Narbe zu spediren, so dürfen wir um so mehr eine Mannigfaltigkeit behufs Vereinigung der Sexualelemente für die Cryptogamen erwarten, deren Befruchtungsvorgänge eine weit größere Mannigfaltigkeit darbieten.

Die uns bekannt gewordenen chemischen Reize dienten immer nur dazu, die ohnehin schon in die Nähe kommenden selbstbeweglichen Sexualelemente zu der und in die Eizelle zu locken, und zu Fernwirkungen, zum Herbeilocken aus großer Entfernung sind diese Reize auch der Natur der Sache nach nicht geeignet. Wo es sich um Herbeiziehen der männlichen Sexualelemente aus größerer Entfernung handelt, müssen andere Mittel dienstbar sein, die indess für die Cryptogamen noch sehr wenig beachtet und erforscht sind und auf die ich hier nicht einzugehen beabsichtige, da ich speziell die chemischen Reizwirkungen ins Auge fasste. Übrigens sind diese in der Nähe wirksamen, zur Anlockung der beweglichen Sexualzellen bestimmten chemischen Reize uns sowohl für Landpflanzen, als für Wasserpflanzen bekannt geworden.

Die Anlockung der Sexualzellen wird durchaus nicht durch ein allgemeines Reizmittel besorgt, vielmehr erweist sich die Empfindlichkeit jener durchaus spezifisch different und gegen die Äpfelsäure, welche für die Samenfäden der Farne, gegen Rohrzucker, der für die Samenfäden der Moose das wirksame Agens ist, verhielten sich in allen untersuchten Fällen die Samenfäden anderer Gruppen indifferent. So dürfen wir also auch vermuthen, dass die ihrer Natur nach noch nicht erkannten Reizmittel der Samenfäden von *Marsilia*, Lebermoosen und *Chara* chemisch verschiedene

Stoffe sind. Da aber innerhalb derselben Gruppe, wenigstens bei Farren und Laubmoosen, derselbe Stoff als Reizmittel dient, so ist so viel hieraus zu entnehmen, dass eine spezifische Empfindlichkeit nicht ausgebildet wurde, um die Bastardirung zwischen näher stehenden Pflanzen zu vermeiden.

Die gewonnenen Thatsachen über chemische Reizwirkungen behufs Vereinigung von Sexualzellen sind naturgemäß nur die Grundsteine dieses Themas, das durch weitere Forschungen mannigfache Ausmalung und Erweiterungen erfahren wird. Aus den meist nur ganz beiläufig in dieses Gebiet schlagenden Bemerkungen ist zu wenig zu entnehmen, um zu weiterer Discussion herauszufordern. Ich beschränke mich deshalb auch nur darauf, in folgendem einige Fälle zu erwähnen, in denen chemische Reize bei der Zusammenführung der Sexualzellen mitzuspielen scheinen. Mit diesen Beispielen möchte ich nur zeigen, dass offenbar solche chemische Reizwirkungen verbreitet sind, und es liegt deshalb durchaus nicht in meiner Absicht, alle in der Literatur zerstreuten Angaben zu sammeln, welche mit mehr oder weniger Wahrscheinlichkeit eine chemische Reizwirkung auf Sexualelemente vermuthen lassen.

Wohl die ersten sicheren Beobachtungen, in denen eine Anziehung der Samenfäden vorliegt, wurden für *Fucus* von THURET¹⁾ mitgetheilt, der einen Trieb der Samenfäden, sich nach der Eizelle zu wenden, annimmt. Ich bedaure, in letzter Zeit keine Gelegenheit gehabt zu haben, dieses offenbar ausgezeichnete Objekt zu untersuchen, um dessen Eizellen Spermatozoen sich so reichlich sammeln und herumtummeln, dass sie die verhältnissmäßig sehr große Eizelle in Rotation setzen. Übrigens muss hier das anziehende Reizmittel schon vor der unmittelbaren Entleerung der Eizellen ausgeschieden werden, da nach THURET die Samenfäden auch schon um die innere Wandschicht des Oogoniums sich reichlichst häufen, wenn diese aus der gesprengten äußeren Oogoniumwand hervortritt.

Die Thatsache einer massenhaften Ansammlung von Samenfäden in der Öffnung des Oogoniums wurde von PRINGSHEIM²⁾ für *Vaucheria* beobachtet, und ohne anziehende Reizwirkung ist es auch nicht denkbar, dass, wie COHN³⁾ fand, so zahlreiche Samenfäden zu den Eizellen von *Sphaeroplea* durch die kleinen Löcher dringen, welche sich in der Wand der die Eizellen beherbergenden Zelle bilden.

Die Beobachtungen BERTHOLD'S⁴⁾ an *Ectocarpus siliculosus* lehren uns einen Fall kennen, in welchem die Eizelle offenbar erst in einem gewissen Entwicklungsstadium eine chemische Reizwirkung auf die männlichen Sexualzellen ausübt. Denn erst, wenn die Eizelle, die zuvor als

1) Annal. d. scienc. naturell. 1854. IV. Sér. Bd. 2. p. 240.

2) Befruchtung und Keimung d. Algen 1855. p. 8.

3) Annal. d. scienc. naturell. 1856. IV. Sér. Bd. 5. p. 202.

4) Mittheilg. a. d. zoolog. Station zu Neapel 1881. Bd. 2. p. 405.

Schwärmzelle sich herumtrieb, zur Ruhe kam, eilen von allen Seiten zu ihr die männlichen Schwärmzellen. Ähnliche Verhältnisse sind auch für *Cutleria* nachgewiesen¹⁾.

Bei *Oedogonium* werden offenbar die Samenfäden durch Reizwirkung in das Oogonium gelockt und bei den Zwergmännchen bildenden Oedogonien dürfte eine locale besondere Wirkung erzielen, dass sich die Androsporen an bestimmten Stellen in der Nähe des Oogoniums festsetzen²⁾.

Mit einiger Wahrscheinlichkeit ist wohl darauf zu rechnen, dass auch im Thierreich es Fälle giebt, in welchen die Samenfäden durch eine anziehende Reizwirkung zu der Eizelle gelockt werden. Untersuchungen in dieser Richtung sind mir unbekannt und es ist eben nur Vermuthung, wenn HENSEN³⁾ zu der Annahme neigt, dass solche anziehende Wirkung nicht bestehen möchte. Ebenso ist das negative Resultat nichtssagend, das mir ein Versuch mit den Samenfäden des Ochsen ergab, die, in 1 prozentiger Chlornatriumlösung schwimmend, durch die in einer Glascapillare zugeschobene Fleischextraktlösung nicht angezogen wurden.

X. Spaltpilze.

Chemische Reize veranlassen nicht nur bei Sexualzellen locomotorische Richtungsbewegungen, sondern auch in anderen Organismen, um diese zu geeigneten Ernährungs- und Existenzbedingungen zu führen. Näher untersucht habe ich in dieser Hinsicht die Spaltpilze, welche gutes Nährmaterial dahin reizt, nach der reichlicheren und besseren Nahrung sich zu bewegen. Auch die Schwärmsporen von *Saprolegnia* werden durch Reizmittel zu animalischen Organismen geführt, und spezifisch differente chemische Reize dienen vielleicht vielfach dazu, Schwärmzellen von Parasiten zu ihrem Wirthe zu leiten.

Die Anhäufung von Bakterien um organische Bissen ist oft zu auffällig, als dass sie übersehen werden konnte, und EHRENBURG⁴⁾ sprach auch die Vermuthung aus, dass solche Ansammlungen durch ein Drängen dieser Organismen nach Nahrungsstoff zu Wege kämen. Das Zusammenwandern scheint aber weder von EHRENBURG, noch von COHN⁵⁾ verfolgt worden zu sein und so lässt sich nicht entscheiden, ob die im gegebenen Falle nach

1) REINKE, Nov. Acta d. Leopold Akadem. 1878. Bd. 44. p. 67; FALKENBERG, Mittheilg. d. zool. Station in Neapel Bd. 4. p. 426.

2) PRINGSHEIM, Jahrb. f. wiss. Bot. 1858. Bd. I. p. 40.

3) In HERMANN's Handbuch d. Physiologie 1884. Bd. 6. Abth. 2. p. 244.

4) Die Infusionsthier als vollkommene Organismen 1838. p. 80.

5) Beiträge zur Biologie d. Pflanzen 1872. Bd. 1. Heft 2. p. 142.

längerer Zeit beobachtete Anhäufung durch ein Zusammenströmen der Bakterien oder durch die unter günstigen Bedingungen bekanntlich sehr schnelle Vermehrung dieser veranlasst war. Dass auch auf letzterem Wege ansehnliche Zusammenhäufung von Bakterien entsteht, ist bekannt¹⁾.

Thatsächlich bewegen sich aber Bakterien nach guter Nahrung hin, die auf sie in analoger Weise einen anlockenden Reiz ausübt, wie das Bedürfniss nach Sauerstoff, welches schwärmende Spaltpilze an die Oberfläche von Flüssigkeiten steigen, um Luftblasen sich sammeln, überhaupt nach den Orten sich bewegen macht, an welchen ihnen genügend Sauerstoff geboten wird²⁾. Auch darin stimmt die Wirkung von Sauerstoff und Nährmaterial überein, dass beide zum Unterhalt der Bewegung nöthig sind, die mit der Entziehung sowohl des Sauerstoffs, als auch der Nahrung erlischt und in guter Nahrung lebhafter als in schlechter Nahrung ist.

Meine Untersuchungen über die anlockende Reizwirkung von Nährstoffen wurden mit *Bacterium termo*, dem gewöhnlichen Fäulnissbacterium, und mit *Spirillum undula* ausgeführt.

Wo nicht ausdrücklich anderes bemerkt ist, war das zu meinen Versuchen dienende Material von *Bacterium termo* gewonnen, indem eine durch Eintauchen in kochendes Wasser getödtete Erbse mit 100 ccm Wasser übergossen der Fäulniss überlassen wurde. Waren dann nach 1 bis 2 Tagen genügend Bakterien gebildet, so wurde zur Entfernung zusammengehäufter Massen von Spaltpilzen durch gröberes Papier filtrirt und die Flüssigkeit direkt oder auch nach weiterer Verdünnung mit Wasser benutzt. Von dem in der Flüssigkeit enthaltenen *Bacterium termo* befand sich immer ein guter Theil im Schwärmzustand. In diesem rückt bekanntlich dieser winzige Organismus, ohne seinen Körper zu wenden, abwechselnd vorwärts und rückwärts, bald langsamer, bald schneller schießend, wahrscheinlich unter dauernder Drehung um seine Achse. Zeitweise tritt dann eine Pause der Bewegung ein, nach der das inzwischen ruhig gelegene *Bacterium* wieder fort schießt und natürlich endlich zu fernen Punkten gelangen kann, wenn seine hin und hergehende Bewegung einseitig gefördert wird.

Spirillum undula, das in einer Flüssigkeit mit faulenden Algen entstanden war, cultivirte ich weiterhin in Wasser, dem ein Stückchen eines Regenwurms zugegeben war. Zunächst erschien neben *Spirillum* reichlich *Bacterium termo*, nachdem aber die Fäulniss in einigen Tagen weiter vorgeschritten war, fand sich relativ sehr viel *Spirillum undula* in der Flüssigkeit. Nur wenn dieses erreicht war, wurde die Flüssigkeit filtrirt und benutzt, da eine zu große Menge von *Bacterium termo* störend in die auf das Verhalten von *Spirillum* abzielenden Versuche eingreifen kann.

1) Vgl. z. B. ZOPF, in SCHENK's Handbuch d. Botanik 1883. Bd. 3. p. 22.

2) Diese Wanderung der Bakterien aus Sauerstoffbedürfniss ist schon länger bekannt (vgl. COHN, l. c., p. 143), aber erst in neuerer Zeit ausführlich von ENGELMANN untersucht.

Der zwischen 7 bis 18 Mikromill. lange schraubenzieherförmige Körper dieses Spirillum beschreibt $\frac{1}{2}$ bis 3 Windungen und trägt an jedem Pole eine Wimper, über deren Existenz COHN¹⁾ im Zweifel blieb, mit dessen Abbildung und Beschreibung übrigens unser Organismus übereinstimmt. Um seine Körperachse sich drehend, schießt ein solches Spirillum mit relativ großer Schnelligkeit eine Strecke weit fort, ruht dann einen Augenblick oder etwas länger, um wieder in der bisherigen Richtung oder auch zurückkehrend ein Stück weit fortzueilen. Hier und da bleibt auch ein Spirillum mit einem Wimperende haften und führt, in dem Streben sich loszureißen, intermittierend lebhaft zappelnde und kreisende Bewegungen aus.

Indem ich kurz die von mir angewandten Formen skizzire, will ich in keiner Weise für ihr Artenrecht eingetreten sein und wende mich nun zu der weiteren Versuchsanstellung. Diese bestand wieder darin, dass 0.025 bis 0.05 mm weite Glascapillaren mit der zu prüfenden Flüssigkeit zugeschoben wurden. Dabei wurde, mit Rücksicht auf das Sauerstoffbedürfniss der Bakterien, darauf gesehen, dass die Versuchsflüssigkeit mit Luft gesättigt war und in der Capillare nur eine etwa 2 bis 3 mm lange Strecke ausfüllte, durch welche der etwa 4—6 mm lange luftführende Raum abgesperrt war.

In der Ausführung empfiehlt es sich, um ein in die Augen springendes Resultat zu erhalten, eine Flüssigkeit mit nicht zu viel, aber auch nicht zu wenig Bakterien zu nehmen. Legt man dann ein nur kleines Deckglas auf Papierstückchen, so tritt in längerer Zeit kein solcher Sauerstoffmangel ein, dass die Bakterien in ansehnlichem Maße nach dem Rande des Deckglases wandern. Übrigens müssen auch Wasserströmungen in der Bakterienflüssigkeit vermieden werden, wenn man eine Ansammlung dieser kleinen Organismen um die Capillare gut beobachten und beurtheilen will.

Bringt man zu dem so beschickten Präparate eine Glascapillare, in die Regenwasser oder die Bakterienflüssigkeit gefüllt ist, nachdem in dieser durch Kochen alle Organismen getödtet, Luft durch Schütteln nach dem Erkalten aber wieder zugeführt wurde, so zeigt Spirillum undula gar keine Neigung in die Capillare zu steuern, und nur vereinzelt verirrt sich in diese einmal ein Exemplar dieses Spaltpilzes. Bacterium termo hingegen dringt häufiger in die Capillare, erreicht aber in derselben, auch wenn diese sterilisirte Bakterienflüssigkeit enthält, zumeist nicht eine gleiche Dichte wie in der Außenflüssigkeit. Nach kürzerer Zeit hat sich dann wohl eine kleinere Anzahl von Spaltpilzen, von ihrem Sauerstoffbedürfniss getrieben, an der Grenze des Luftraums in der Capillare gesammelt. Doch kann diese Ansammlung zu Irrthümern keine Veranlassung geben, da sie gering ist, gegenüber den durch anlockende Nährstoffe erzielten Ansammlungen, welche zudem, wie wir hören werden, auch eine Anhäufung im Capillarmund erzielen. Die anziehende Wirkung der Nährmedien wird, wie schon hier

1) L. c. p. 181.

bemerkt sein mag, immer etwas durch die in der Bakterienflüssigkeit vorhandenen Nährstoffe herabgedrückt, da diese Organismen, analog wie die Samenfäden der Farne, nur nach Maßgabe des Unterschiedes beider Reize reagiren. Deshalb war es auch geboten, dass die Außenflüssigkeit nur stark-verdünntes Nährmaterial enthielt, das aber nicht ganz fehlen durfte, um die Bakterien bewegungstüchtig zu erhalten.

Sehen wir uns nun den Erfolg an, der beobachtet wird, wenn eine Glascapillare mit 1 prozentiger Fleischextrakt-¹⁾ oder 1 prozentiger Asparaginlösung zu *Bacterium termo* geschoben wird, das in nicht zu geringer Menge unter dem Deckglas vorhanden ist. Sogleich schießen die der Capillarmündung nahen Bakterien rascher herum und eilen nach der Capillaröffnung, in die ein Theil dieser Organismen eindringt, während sich zugleich eine Sphäre lebhaft schwärmender Spaltpilze um den Capillarmund bildet. Aus dieser Schwärmsphäre, die durch neu hinzueilende Individuen schnell vermehrt wird, dringen fortwährend Bakterien in die Capillare ein und nach $\frac{1}{2}$ bis 1 Minute kann in dieser, wie um deren Mund herum schon eine recht ansehnliche Ansammlung vorhanden sein. Diese Ansammlung ist unter Umständen 2 bis 5 Minuten nach Beginn des Versuches so weit gestiegen, dass in der Capillare nahe an der Öffnung dieser, ein förmlicher Pfropf von Bakterien gebildet ist, während inzwischen, in Folge der fortgeschrittenen Diffusion des Fleischextraktes oder des Asparagins, die Schwärmsphäre ausgedehnter und weniger dicht wurde.

Die dichteste Anhäufung der Bakterien rückt gewöhnlich mit der Zeit etwas tiefer in die Capillare und befindet sich nach 8 bis 10 Minuten vielleicht $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ mm entfernt von der Öffnung. Von Anfang an haben sich aber auch in der ganzen Capillarflüssigkeit Spaltpilze verbreitet, die, durch den relativen Sauerstoffmangel veranlasst, nach 5 bis 10 Minuten eine zweite Anhäufung am oberen Ende der Capillarflüssigkeit, also an der Sauerstoff liefernden Luftblase in der Capillare bilden. Dieses zweite Maximum kann mit der Zeit sehr prononcirt und sogar die dichteste Ansammlung in der Capillare werden, in welcher endlich die Bakterien öfters lebhafter bewegt als irgendwo sonst in der Capillare sind, weil in dieser Mangel an Sauerstoff eintrat, der von jener Luftmenge in der Capillare aus der angrenzenden Flüssigkeit geliefert wird. So lange aber Sauerstoffmangel nicht eintrat, sind die Spaltpilze in der Capillarflüssigkeit viel lebhafter bewegt als zuvor in der Außenflüssigkeit. Wohin übrigens Fleischextrakt oder Asparagin diffundirt, wird gleichfalls eine Beschleunigung der Bewegung, ein sehr flinkes Herumschießen des *Bacterium termo* erreicht, und dieses um so mehr, je weniger Qualität oder Quantität des Nähr-

1) Der prozentische Gehalt bezieht sich immer auf Fleischextrakt von der üblichen Extraktconsistenz. Eine Bestimmung der Trockensubstanz führte ich nicht aus, da es stets nur auf annähernde Angabe der Concentration ankommt.

materials zuvor den *Bakterien* gestattet hatte, ihre größtmögliche Bewegungsschnelligkeit anzunehmen.

Dieses Einschwärmen von *Bacterium termo* (und auch von *Spirillum*) spielt sich nicht in jedem Versuche in ganz derselben Weise ab, da auch hier, so gut wie bei dem Eindringen der Samenfäden der Farne, gewisse Modificationen durch verschiedene Umstände herbeigeführt werden können, die hier nicht weiter discutirt werden sollen. Die allmähliche Ausdehnung der Anziehungssphäre und damit die Erweiterung der Schwärmsphäre um die Capillaröffnung ist die naturgemäße Folge der fortschreitenden Diffusion des Reizmittels, und dem entsprechend wird die Schwärmsphäre auch wieder dichter und auf kleineren Raum zusammengedrängt, wenn man die Flüssigkeit unter Deckglas durch *Bakterien* enthaltende Versuchsflüssigkeit verdrängt.

In Versuchen mit *Spirillum undula* spielt sich Ansammlung und Einschwärmen in analoger Weise ab, wenn eine Capillare zugeschoben wird, die mit einer 1 Proz. Fleischextrakt oder 1 Proz. Asparagin enthaltenden Flüssigkeit gefüllt ist. Der größeren Bewegungsschnelligkeit halber schießt *Spirillum* schneller zusammen, als *Bacterium termo* und eine zu deutlicher Anhäufung genügende Menge des in kürzerer Zeit größere Strecken durcheilenden *Spirillum* gelangt auch dann in den Bereich der Anziehungssphäre der Capillaröffnung, wenn dieser Organismus spärlicher in der Versuchsflüssigkeit sich vorfindet. Die Ansammlung in der Capillare gestaltet sich übrigens zu Anfang und im Verlaufe des Versuches mit *Spirillum* ähnlich wie mit *Bacterium termo*. Auch wird die Intensität der Bewegung des *Spirillum* durch den zugeführten Nährstoff in hohem Grade gesteigert.

Immer sammelt sich nur ein Theil der im Gesichtsfeld vorhandenen Spaltpilze in der Capillare, und wenn von *Spirillum undula* sich auch relativ viel mehr in der Capillare vereinigen, als von *Bacterium termo*, so bleibt doch diese Anhäufung von *Spirillum* prozentisch zurück hinter der Ansammlung der Samenfäden der Farne in einer Äpfelsäure enthaltenden Capillare. Die verhältnissmäßig ansehnlichere Zusammenführung von *Spirillum* ist offenbar wesentlich bedingt durch die schnellere Bewegung und den Umstand, dass alle oder nahezu sämtliche der im Gesichtsfeld befindlichen Individuen bewegt zu sein pflegen, sofern die Culturflüssigkeit nicht allzu arm an Nährmaterial ist und Sauerstoff nicht mangelt. Von *Bacterium termo* ist aber immer eine erhebliche Zahl nicht im Schwärmzustand und deshalb unfähig, nach der Capillare zu steuern, außerdem ist eine oft erhebliche Zahl von Individuen nur zu geringerer Bewegung befähigt und scheint dann, so wie die langsam bewegten Samenfäden von Moosen, in geringerem Grade erfolgreich durch das zu locomotorischer Richtungsbewegung anregende Reizmittel afficirt zu werden.

Einmal in die Capillare oder in die Schwärmsphäre um deren Öffnung gelangt, verhalten sich beide Arten von Spaltpilzen analog wie die Samen-

fäden der Farne (vgl. p. 375), d. h. einzelne Individuen enteilen gelegentlich der Capillare und der Anziehungssphäre um diese, die meisten aber prallen bei solchem Versuche in der Nähe der Öffnung der Capillare zurück, um wieder in diese zurückzusteuern. Dieses Zurückprallen ist der schnelleren Bewegung halber auffälliger bei *Spirillum undula*, übrigens auch bei *Bacterium termo* sehr deutlich wahrzunehmen. Mit Rücksicht auf das bei Besprechung der Samenfäden der Farne Erörterte bedarf es hier keiner besonderen Auseinandersetzungen mehr, warum z. B. aus der Anziehungssphäre um den Capillarmund häufiger Spaltpilze entfliehen, wenn diese Sphäre durch fortgeschrittene Diffusion des anlockenden Reizmittels ausgedehnter wurde.

Bei gleichzeitiger Gegenwart von *Spirillum undula* und *Bacterium termo* — und frei von diesem Spaltpilze war die Versuchsflüssigkeit nie — führt die Concurrenz zwischen beiden zu ungleichem Resultate, je nachdem dieser oder jener Organismus zahlreicher ist und je nachdem Qualität oder Quantität des Reizmittels, sowie andere Umstände das Streben von *Bacterium termo* oder *Spirillum* nach der Capillare begünstigen. Ich will hier nur bemerken, dass eine höhere Concentration auf *Spirillum* ungleich mehr abstoßend wirkt, als auf *Bacterium termo* und dieses unter solchen Umständen die Oberhand über *Spirillum* gewinnt. Übrigens fällt auch die relative Menge beider Spaltpilze ins Gewicht, denn bei Verwendung von einprozentiger Fleischextraktlösung sammelt sich *Spirillum* sehr reichlich um die und in der Capillare, während wenigstens einigemal mit der Zeit *Bacterium termo* die zuerst zusammengeeilten Spirillen zum guten Theil verdrängte, als dieses gewöhnliche Fäulnisbacterium verhältnissmäßig zahlreich in der Versuchsflüssigkeit war. In der Occupirung des Terrains durch das in Menge zusammenwandernde *Bacterium termo* kommt in solchem Falle als mitwirkender Faktor auch die Veränderung des Gehaltes an Sauerstoff in der Flüssigkeit in Betracht, gegen welchen die beiden Bacterien in ungleichem Maße empfindlich sind¹⁾.

Gegen höhere Concentration ist *Bacterium termo* ungleich weniger empfindlich als *Spirillum undula*, auf das eine abweisende Reizwirkung schon mäßig concentrirte Lösungen ausüben, in welche *Bacterium termo* noch ganz ungehindert eindringt. Wendet man eine Lösung an, die neben 4 Proz. Fleischextrakt 4 Proz. Salpeter enthält, so wird die anziehende Wirkung jenes von der durch Concentration erzielten abstoßenden Wirkung überwogen, so dass die gegen die Capillare ansteuernden Exemplare von *Spirillum* in einiger Entfernung von der Öffnung dieser zurückprallen und eine unter Umständen sehr dichte Schwärmsphäre von *Spirillum* entsteht, welche mit fortschreitender Diffusion des Salpeters etwas weiter von der Capillaröffnung rückt. Ähnliches Resultat erhält man, wenn die 4 prozen-

1) Vgl. ENGELMANN, PFLÜGER'S Archiv f. Physiologie 1884. Bd. 26. p. 544.

tige Lösung von Fleischextrakt 2 Proz. Salpeter oder auch nur 1 Proz. Salpeter enthält, doch macht sich in letzterem Falle die geringere Abstoßung dadurch bemerklich, dass einzelne Spirillen in die Capillare eindringen. Die Zahl dieser eindringenden Spirillen ist erheblich vermehrt, wenn der Salpetergehalt der Capillarflüssigkeit auf $\frac{1}{2}$ Proz. erniedrigt wird, doch macht sich die Abstoßung auch jetzt in dem Rückprallen einer größeren Zahl von Individuen und in der Ansammlung geltend, die geringer ausfällt, als wenn der Salpeterzusatz weggelassen wäre.

Diese Abstoßung ist nur Folge der Concentration, oder richtiger der hiervon abhängigen osmotischen Leistung, denn bei Verwendung des osmotisch weniger wirksamen Zuckers war bei einem Gehalt von 6 Proz. Rohrzucker in der 1 prozentigen Lösung von Fleischextrakt die abstoßende Wirkung auf *Spirillum* kaum stärker als bei der 1 Proz. Salpeter enthaltenden Fleischextraktlösung, die bei einem Zuckergehalt von 3 Proz. ein ähnliches Resultat gab, wie bei einem Salpetergehalt von $\frac{1}{2}$ Proz.

Durch diese abstoßende Reizwirkung vermeidet *Spirillum* die ihm nachtheiligen concentrirten Lösungen, denn in Flüssigkeit mit einem Gehalt von 1 Proz. Fleischextrakt und 2 Proz. Salpeter gebracht, wurde die Bewegung von *Spirillum* sogleich stark gehemmt, z. Th. sogar sistirt, und nach $\frac{1}{4}$ Stunde waren, auch bei guter Sauerstoffzufuhr, nur noch einzelne Individuen in ganz geringer Bewegung. *Bacterium termo* hingegen verträgt sehr hohe Concentrationen und schwärmte auch ungehindert in den eben mitgetheilten Versuchen in die Capillare ein. Ja selbst als die Capillarflüssigkeit neben 1 Proz. Fleischextrakt 20 Proz. Salpeter enthielt, sammelte sich *Bacterium termo* reichlichst darin und war auch in dieser Flüssigkeit noch lebhaft bewegt. Um eine noch concentrirtere Lösung zu gewinnen, löste ich dann in der 1 prozentigen Fleischextraktlösung 40 Proz. wasserfreies Chlorcalcium, einen osmotisch sehr wirksamen Körper, und verwandte diese Flüssigkeit, nachdem die Phosphate abfiltrirt, zu der Füllung der Capillare. Jetzt machte sich eine entschiedene Abstoßung bemerklich und die meisten Individuen von *Bacterium termo* prallten anfangs zurück. Bald darauf drangen aber einzelne in die Capillare, in der sich nach 8 Minuten, und noch mehr nach 15 und 20 Minuten, eine merkliche Ansammlung dieses Spaltpilzes gebildet hatte, der bewegungslos in der concentrirten Lösung lag.

Sicher erzielen also Stoffe durch ihre osmotische Leistung eine abstoßende Reizwirkung auf Bakterien, doch ist anzunehmen, dass außerdem, analog wie bei Samenfäden der Farne (p. 386), die Qualität des Stoffes noch eine besondere abstoßende Reizwirkung auszuüben vermag. Näher untersucht habe ich solches nicht, doch spricht dafür, dass *Bacterium termo* durch eine 25 prozentige Lösung von Fleischextrakt in erheblicherem Grade abgestoßen wurde, als durch die osmotisch wirksamere 20 prozentige Salpeterlösung. Auch scheinen die Bakterien Medien von zu saurer Beschaffenheit zu fliehen.

Steigt also auch mit zunehmender Menge des Stoffes in der Lösung die Reizwirkung dieses, so wird doch gleichzeitig mit der zunehmenden osmotischen Leistung die abstoßende Wirkung gesteigert und so nimmt, wie es ja auch für die Samenfäden der Farne dargethan wurde, die anziehende Wirkung ab, um endlich einer Abstoßung Platz zu machen. Diese ist für das empfindlichere *Spirillum undula* leichter erreicht, während die höchstmögliche Concentration eines nicht zu löslichen Nährstoffes bei *Bacterium termo* oft noch nicht die abstoßende Reizwirkung erzielen wird. Um Beispiele in dieser Hinsicht für *Spirillum* zu nennen, erwähne ich, dass von Fleischextrakt, sowie von Asparagin, die 4 prozentige Lösung so abstoßend wirkte, dass trotz des sehr ansehnlichen Zusammeneilens dieses Spaltpilzes doch in der ersten Zeit des Versuches nur ganz vereinzelt ein Exemplar in den Capillarmund gelangte, während die zweiprozentige Lösung dieser Stoffe ein reichlicheres Einschwärmen veranlasste als die einprozentige Lösung. Auch in eine Capillare, die 4 prozentige Lösung von trockenem Grasextrakt enthielt, gelangte kaum ein *Spirillum*, während 2 prozentige Lösung ein freilich mäßig starkes Einschwärmen veranlasste.

Unter solchen Umständen ist es aber einleuchtend, dass für einen Stoff, der erst mit höherer Concentration eine genügende Reizwirkung ausüben würde, um Einschwärmen zu erzielen, dieses gar nicht zur Wahrnehmung kommt, wenn die von der Concentration abhängige abstoßende Wirkung einen relativ zu hohen Werth erreicht. Aus diesem Grunde dürften in der That manche Nährstoffe, welche, in genügender Concentration geboten, *Bacterium termo* anziehen, auf *Spirillum undula* einen merklichen anlockenden Reiz nicht ausüben. Dieses negative Resultat ist ohnehin für jeden Nährstoff erreichbar, indem man zu der Außenflüssigkeit eine gewisse Menge von diesem giebt, so dass zur Erzielung der Unterschiedsempfindlichkeit die Capillarflüssigkeit eine Concentration annehmen müsste, bei der bereits die schneller zunehmende abstoßende Reizwirkung die Überhand gewinnt.

Wie gegen Concentration der Nährlösung ist *Spirillum* auch empfindlicher als *Bacterium termo* gegen den Sauerstoffgehalt im Wasser. Während nämlich der letztgenannte Spaltpilz, seinem Sauerstoffbedürfniss nachgehend, bis an eine unter Deckglas befindliche Luftblase sich drängt, sammelte sich, wie ENGELMANN¹⁾ fand, *Spirillum tenue* in einiger Entfernung hiervon, weil ihm hier der am besten zusagende Sauerstoffgehalt in Wasser geboten wurde, der also einem geringeren Partiärdruck entspricht, als dem in der Luft gebotenen. Dem entsprechend wanderte aber *Spirillum* bis an die Luftblase, als durch Überleiten von Wasserstoffgas die Partiärpressung des Sauerstoffs herabgesetzt wurde, und aus gleichem Grunde drang dieser Spaltpilz bis an einen schwach assimilirenden Algenfaden vor, während er sich in einiger Entfernung von diesem bei intensiver Kohlensäurezersetzung und demgemäß ausgiebiger Sauerstoffproduction ansammelte.

1) PFLÜGER's Archiv f. Physiologie 1884. Bd. 26. p. 544.

Aus der mit der Menge des Sauerstoffs und des Nährstoffs veränderlichen Reizwirkung und dem Zusammengreifen dieser beiderseitigen Reize erklärt sich auch im wesentlichen die Art und Weise der Vertheilung der Bakterien in einer Capillare. Wie schon erwähnt, sammelt sich in einer mit einer 1 prozentigen Lösung von Fleischextrakt oder Asparagin gefüllten Capillare (bei Verwendungen 4 prozentiger Lösungen ist das Resultat ähnlich) die hauptsächlichste Anhäufung von *Bacterium termo* in der Öffnung der Capillare, und allmählich erscheint noch ein zweites Maximum der Ansammlung an der Luftblase in der Capillare. Diese Ansammlung um die Luftblase ist als Erfolg der Wanderung nach dem sauerstoffreicheren Medium hin ohne weiteres verständlich. Das Hauptmaximum hängt z. Th. von der für *Bacterium termo* optimalen Concentration des Nährmediums ab und rückt demgemäß in der Capillare aufwärts in dem Maße, als durch Diffusion die Lösung im unteren Theile verdünnter wird. Diese Ansammlung ist übrigens auch von der Sauerstoffzufuhr beeinflusst, die zunächst der Öffnung der Capillare, wohin Sauerstoff aus der Außenflüssigkeit gelangt, immerhin ansehnlicher ist, als weiter im Inneren, wohin die beiden Maxima der Anhäufung wenig oder gar nicht Sauerstoff passiren lassen, so dass die in diese innere Flüssigkeitszone gelangenden Bakterien einer der beiden Anhäufungen zuzusteuern streben. Mit dem Sauerstoff- und Nährstoffgehalt ändert sich naturgemäß die Vertheilung der Bakterien in der Capillare, doch soll dieses hier nicht weiter besprochen und auch nicht näher dargethan werden, dass aus der von verschiedenen Faktoren abhängigen Hauptansammlung der Bakterien kein sicherer Schluss auf die für die Ansammlung der Bakterien optimale Concentration gemacht werden kann.

Ebenso unterlasse ich es, den Modus der Anhäufung von *Spirillum undula* näher zu besprechen, dessen Anhäufung, bei Verwendung concentrirter Nährlösung, in der Nähe der Mündung in der Capillare, als eine Folge zu hoher Concentration im Inneren der Capillare, nach dem oben Mitgetheilten selbstverständlich ist.

Die verschiedenen Nährstoffe sind natürlich, wie auch aus den später folgenden Mittheilungen über Prüfung verschiedener Nährstoffe hervorgeht, ungleich gute Reizmittel, und dem entsprechend ist eine größere oder geringere Menge nöthig, um eine eben merkliche Ansammlung der Bakterien zu erzielen. Die genaue Bestimmung der Reizschwelle ist aber schon deshalb schwierig, weil die Außenflüssigkeit eine gewisse Menge eines Nährmaterials enthalten muss, um eine ordentliche Bewegung der Bakterien zu erzielen und demgemäß, da jedes Nährmaterial Reizmittel ist, immer nur die Unterschiedsschwelle des Reizes zur Geltung kommt. Dann aber ist weit schwieriger als bei Samenfäden der Farne zu beurtheilen, ob eine Ansammlung von Bakterien stattfand, die zudem von der Vertheilung des Sauerstoffs in der Flüssigkeit beeinflusst wird.

Von einer genauen Bestimmung der Reizschwelle habe ich aus obigen

und anderen Gründen ganz Abstand genommen und mich mit der Feststellung der Thatsache begnügt, dass gute Reizmittel schon in geringer Menge eine merkliche Reaktion erzielen. Als ich *Bacterium termo* in möglichst nährstoffarmer Flüssigkeit verwandte, bewirkte Fleischextraktlösung mit 0.4 Proz. noch recht deutliche und solche mit 0.04 Proz. noch gut merkliche Ansammlung der vor und in der Capillare lebhafter bewegt werden den Bakterien, während durch 0.01 Proz. Fleischextrakt eine sichere Reizwirkung nicht mehr zu erzielen war. Bei Verwendung von *Spirillum undula* in verdünnter Flüssigkeit war bei einem Gehalt der Capillarflüssigkeit von 0.04 Proz. durchaus deutliche, bei einem Gehalt von 0.01 Proz. eine unsichere Ansammlung zu bemerken und etwa ebenso stark ansammelnd wie 0.04 Proz. Fleischextrakt wirkte eine Lösung mit 0.25 Proz. Asparagin. Die Reizschwelle liegt also jedenfalls tiefer, als die hier gewonnenen Werthe, und wir dürfen vermuthen, dass, wenn die Außenflüssigkeit reines Wasser wäre, diese Bakterien vielleicht schon eine eben merkliche Ansammlung um eine Capillare zeigen würden, die zwischen 0.004 und 0.001 Proz. Fleischextrakt enthält.

Um merkliche Unterschiedsempfindung zu erzielen, muss in der That die Capillarflüssigkeit in ihrer Concentration der Aufenthaltsflüssigkeit der Bakterien um ein Vielfaches überlegen sein, wie sich aus folgenden Versuchen ergibt, in denen *Bacterium termo* zur Verwendung kam, das in einer 0.05 Proz. Fleischextrakt enthaltenden Lösung cultivirt war und in dieser Flüssigkeit auch zur Prüfung gelangte. Enthielt dann die Flüssigkeit in der zugeschobenen Capillare das 5fache, nämlich 0.25 Proz. an Fleischextrakt, so war eine anlockende Reizwirkung auf die Bakterien nicht zu bemerken, während eine merkliche, aber ganz schwache Ansammlung eintrat, als sich in der Capillare eine Lösung mit der 20fachen Menge, also mit 1 Proz. Fleischextrakt befand.

Dieselbe Bakterienflüssigkeit wurde dann durch Zufügen von Fleischextrakt auf einen Gehalt dieses Stoffes von 0.4 Proz. gebracht und es ergab sich wieder Indifferentismus gegen eine Capillare mit 5facher (2 Proz.), eben merkliche Ansammlung gegen eine solche mit 20fach (8 Proz.) concentrirter Fleischextraktlösung.

Diese Versuche sind nun zwar nicht im Stande, ein genaues Bild hinsichtlich der Unterschiedsempfindlichkeit von *Bacterium termo* zu geben, immerhin lehren sie, dass mit zunehmendem Nährmaterial in der Aufenthaltsflüssigkeit der Bakterien zur Erzielung merklicher Reaktion eine absolut größere Steigerung der Concentration in der Capillarflüssigkeit nöthig wird. So sprechen denn auch diese Zahlen entschieden dafür, dass die im WEBER'schen Gesetz ausgedrückte Beziehung zwischen Reizzuwachs und Reaktion (Empfindung) auch für die Bakterien gilt (vgl. p. 395).

Die Bakterien werden aber nicht nur von den genannten Stoffen, sondern von den verschiedensten Nährstoffen angelockt, und wir dürfen diesen

Organismen also eine allgemeine Empfindung für Nahrung zuschreiben, vermöge welcher die beweglichen *Bakterien* sich nach der besseren und reichlicheren Nahrung zu bewegen streben. In der That haben sich alle geprüften guten Nährmittel bei ungleicher Vertheilung in der Lösung auch als Reizmittel erwiesen, die eine entsprechende locomotorische Richtungsbewegung der *Bakterien* veranlassen. Übrigens geht diese Reizwirkung nicht genau parallel mit dem Nährwerth, denn eine 1 prozentige Asparaginlösung lockt z. B. *Bacterium termo*, sowie *Spirillum undula* schneller und reichlicher in eine Capillare, als eine Lösung, die neben $\frac{1}{2}$ oder 1 Proz. Pepton 1 Proz. Rohrzucker enthält, obgleich in dieser Flüssigkeit sich die *Bakterien* schneller und reichlicher vermehren¹⁾. Diese letztgenannte Lösung beschleunigt aber die Bewegung beider Spaltpilze in geringerem Grade als eine 1 prozentige Asparaginlösung, und je ansehnlicher diese Beschleunigung der Bewegung ausfällt, um so mehr anziehend wirkt, wenigstens nach meinen bisherigen Erfahrungen, eine Nährlösung auf die *Bakterien*.

In Widerspruch mit der oben ausgesprochenen Beziehung steht es nicht, dass *Bacterium termo* und *Spirillum undula* reichlichst in eine Lösung von Asparagin in reinem Wasser einschwärmen, obgleich diese von anorganischen Nährsalzen freie Lösung kein Nährboden für *Bakterien* ist und beim Stehen auch nur eine minimale Entwicklung dieser bietet. Die *Bakterien* bedürfen eben der anorganischen Stoffe nicht im ersten Augenblick, während sie in die Asparaginlösung eindringen, welche sie zu sehr lebhafter Bewegung veranlasst und die zudem minimale Menge von anorganischen Stoffen bietet und durch Diffusion aus der Außenflüssigkeit zugeführt bekommt. Übrigens macht sich nach längerer Zeit der Mangel anorganischer Salze in der nachlassenden Bewegungsschnelligkeit geltend, die reine Asparaginlösung im Vergleich mit derselben Lösung bietet, welche einen Zusatz anorganischer Nährstoffe erhielt.

Zur Prüfung, ob ein Nährstoff eine anziehende Wirkung ausübt, ist *Bacterium termo* geeigneter als *Spirillum undula*, das [schon mäßige Concentration flieht und deshalb, wie schon früher hervorgehoben, zu einer wirklichen Ansammlung es nicht bringen kann, wenn die hierauf abzielende Reizwirkung genügende Intensität erst mit einer Concentration erreicht, die vermöge dieser schon überwiegend abstoßend wirkt. In diesem Sinne sind auch die nachfolgend mitgetheilten negativen Resultate mit *Spirillum* zu beurtheilen. Übrigens ist für *Bacterium termo* gleiches ins Auge zu fassen und zu bedenken, dass schlechte Nährstoffe eine merkliche anlockende Reizwirkung um so weniger erzielen, als die Außenflüssigkeit nicht frei von Nährmaterial ist.

Welcher Art auch immer dieses Nährmaterial sein mag, so ist doch,

1) NÄGELI, Ernährung d. niederen Pilze in Sitzungsber. d. Bayerischen Akad. 1879. p. 287.

der in ihrem Ziele identischen Reizwirkung halber, nur die Unterschiedsempfindung und somit die Resultante der von verschiedenen Stoffen herührenden Reize entscheidend, so gut wie bei Samenfäden der Farne, auf welche die schwächer wirksame Maleinsäure analog wirkt wie die Äpfelsäure. Wir dürfen hiernach, auch ohne dass ich spezielle Untersuchungen in ausgedehnter Weise anstellte, als gewiss annehmen, dass die Bakterien bei beliebiger qualitativer Differenz der Nährlösungen immer von der schwächer reizenden zu der stärker reizenden Nährlösung gehen, sofern die Unterschiedsschwelle des Reizes erreicht wird und aus hoher Concentration oder anderen Faktoren keine Hemmnisse entspringen.

In den folgenden Versuchen wurden Fleischextrakt, Hühnereiweiß und Grasdecoct ohne Zusatz anorganischer Salze angewandt, während die anderen organischen Stoffe, sofern nichts anderes ausdrücklich bemerkt ist, in einer Flüssigkeit gelöst wurden, welche in 4000 Theilen Wasser enthielt 3 g Ammoniumnitrat; 1 g Dikaliumphosphat; 0.1 g Magnesiumsulfat; 0.1 g Kaliumsulfat; 0.05 g Chlorcalcium.

Das Verhalten gegen Fleischextrakt ist im Vorausgehenden ausführlicher behandelt. Es sei deshalb hier nur bemerkt, dass *Bacterium termo* bei Verwendung von 25 prozentiger Lösung als Capillarflüssigkeit eine abstoßende Wirkung erfährt, die bei 15 prozentiger Lösung noch nicht merklich auftritt. Bei *Spirillum undula* ist bei 4 prozentiger Lösung die Abstoßung deutlich. Der prozentische Gehalt bezieht sich auf Fleischextrakt der üblichen Extraktconsistenz.

Asparagin wirkt zunächst in gleicher Weise, gleichviel ob es in reinem Wasser, oder in der genannten anorganischen Nährlösung gelöst ist. Die Reizschwelle für diesen Stoff ist schon besprochen, ebenso dass *Spirillum undula* durch 4 prozentige Lösung eine gewisse Abstoßung erfährt.

Pepton aus Hühnereiweiß mittelst Pepsin und nachherigem Fällen mit Alkohol dargestellt. Das Verhalten von *Bacterium termo* wurde geprüft gegen Flüssigkeiten, die in vorgenannter anorganischer Nährlösung enthielten: 1) 4 Proz. Pepton; 2) 4 Proz. Pepton und 1 Proz. Rohrzucker; 3) 2 Proz. Pepton; 4) 2 Proz. Pepton 1 Proz. Rohrzucker; 5) 1 Proz. Pepton; 6) 1 Proz. Pepton 1 Proz. Rohrzucker; 7) $\frac{1}{2}$ Proz. Pepton 1 Proz. Rohrzucker; 8) $\frac{1}{2}$ Proz. Pepton $\frac{1}{2}$ Proz. Rohrzucker; 9) $\frac{1}{4}$ Proz. Pepton $\frac{1}{2}$ Proz. Rohrzucker. In allen diesen Versuchen ergab sich eine Ansammlung von Bakterien, die indess in Versuch 9 nur mäßig und in allen Versuchen geringer war, als die durch eine 1 oder 2 prozentige Fleischextraktlösung erzielte Ansammlung. In dieser waren die Bakterien durchschnittlich lebhafter als in Pepton, dessen etwas schleimige Lösung bei $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ und selbst 1 Proz. gewiss keine mechanische Hemmung von solcher Stärke ausübte, dass hierdurch die Bewegungsschnelligkeit in erheblichem Grade beeinflusst wurde. In allen peptonhaltigen Lösungen vermehrten sich Bakterien sehr energisch.

Spirillum undula zeigte deutliche, aber doch gegen Fleischextrakt weit zurückstehende Anziehungen gegen Lösungen mit: 1) 2 Proz. Pepton; 2) 4 Proz. Pepton; 3) 4 Proz. Pepton $\frac{1}{2}$ Proz. Rohrzucker; 4) $\frac{1}{2}$ Proz. Pepton $\frac{1}{4}$ Proz. Rohrzucker.

Hühnereiweiß, mit gleichen Theilen Wasser versetzt und durch Schütteln mit Glasscherben enthäutet, wurde so und nach Verdünnung dieser Flüssigkeit mit der gleichen und dreifachen Menge Wasser verwandt. In allen Versuchen zeigte *Bacterium termo* merkliche, aber im ganzen schwache Anziehung, die bei *Spirillum undula* noch geringer ausfiel.

Conglutin 2 Proz. mit möglichst wenig Kaliumkarbonat gelöst, lockte *Bacterium termo* in ziemlicher Menge in die Capillare.

Rohrzucker mit anorganischen Nährstoffen. In die Lösung mit 8 Proz. und 5 Proz. schwärmt *Bacterium termo* ziemlich reichlich ein, in die mit 4 Proz. dagegen nur schwach und bei $\frac{1}{3}$ Proz. bleibt die Anziehung zweifelhaft. Die Bewegungsschnelligkeit wird durch die 4- und 8prozentige Lösung deutlich beschleunigt. — Auf *Spirillum undula* übten 3-, 2- und 1prozentige Rohrzuckerlösung keine deutliche Anziehung aus.

Weinsaures Ammoniak in 5prozentiger Lösung wirkt auf *Bacterium termo* ungefähr wie eine 5prozentige Rohrzuckerlösung.

Äpfelsaures Natron. Die 2prozentige Lösung erzielt deutliches Einschwärmen von *Bacterium termo*, während *Spirillum* diese Lösung flieht.

Harnstoff. *Bacterium termo* erweist sich indifferent gegen 4prozentige Lösung, wird aber mäßig angezogen von einer Lösung mit 2 Proz. Harnstoff und $\frac{1}{2}$ Proz. Rohrzucker.

Leucin in 4prozentiger Lösung erzielt mäßige Anziehung von *Bacterium termo*.

In Lösung von 4 Proz. Grasextrakt schwärmt *Bacterium termo* reichlich ein.

Wie durch die Extrakte werden die Bakterien auch durch Fleischstückchen und Pflanzentheile angezogen und auch bei Versuchen mit diesen kommt die Empfindlichkeit von *Spirillum* gegen höhere Concentration zur Geltung. Bringt man ein Stückchen Rindfleisch von etwa $\frac{1}{2}$ mm Durchmesser unter Deckglas, so eilt sogleich *Bacterium termo* bis an das Fleisch und bildet um dieses eine gewisse Anhäufung, die indess unter diesen Umständen nur mäßig und in der nächsten Zeit nur wenig ansehnlicher wird, offenbar weil Nährstoffe zu reichlich in die umgebende Flüssigkeit dringen. Bringt man dagegen ein solches an eine Nadel angespießtes Fleischstückchen in eine größere Menge Spaltpilze enthaltender Flüssigkeit, so sammelt sich bald eine große Menge Bakterien um das Fleischstückchen. Am besten sieht man dieses, indem man ein Fliegenbein verwendet, an dessen Wundfläche dann bald ein dichtes Gewimmel lebhaft schwärmender Fäulnisbakterien sich einstellt. Übrigens ist es zur Erzielung eines recht schlagenden Resultates nöthig, dass Strömungen in dem

Wasser möglichst vermieden sind. — Zu ähnlichem Resultate führt es auch, wenn man Stückchen von Kohlrabi oder einer anderen Pflanze verwendet.

Auch *Spirillum undula* schießt sogleich nach dem unter Deckglas befindlichen Fleischstückchen, erreicht dieses aber zunächst nur in ganz einzelnen Exemplaren, während die Mehrzahl in einiger Entfernung Halt macht, resp. sich hin und herbewegt und hier also eine ziemlich reichliche Ansammlung bildet. Nach 5 oder 15 Minuten dringen dann aber mehr und mehr Exemplare bis an das Fleischstückchen vor, dem sie sich zumeist ruhend anlagern. Dieses Resultat ist vollkommen verständlich als Folge der zu hohen Concentration, welche zunächst um das Fleischstückchen durch die aus diesem austretenden Stoffe erreicht wird, und dem entsprechend eilt *Spirillum* sogleich bis an das Fleischstückchen heran, wenn man dieses einige Augenblicke mit Wasser auslaugt, bevor es unter Deckglas gebracht wird. Ganz ähnlich gestaltet sich auch die Ansammlung von *Spirillum*, wenn man ein Stückchen Kohlrabi direkt oder nach zuvorigem Abwaschen mit Wasser verwendet. Gegenüber solchen Nährbissen ist also das Verhalten ähnlich wie gegenüber einer Luftblase, die nach ENGELMANN's Beobachtungen, deren früher gedacht wurde, von dem in relativ sauerstoffarmem Wasser befindlichen *Spirillum* nicht erreicht wurde, während das in einiger Entfernung von der Luftblase sich anhäufende *Spirillum* bis an die Luftblase vorrückte, sobald der Partiärdruck des Sauerstoffs, resp. der Sauerstoffgehalt in dem zunächst umgebenden Wasser genügend herabgesetzt war. — Der Nutzen, welcher für die Bakterien in der Natur aus dieser Reizwirkung entspringt, welche sie nach der für sie geeigneten Nahrung hinführt, springt ohne weiteres in die Augen.

Wir dürfen wohl mit Sicherheit annehmen, dass diejenigen Bakterien, welche in ihrem Fortkommen an spezifische Nährstoffe gebunden sind¹⁾, auch nur durch diese zu locomotorischer Richtungsbewegung gereizt werden. Einer näheren Prüfung habe ich diese Frage nicht unterzogen und bemerke nur noch, dass, so weit meine Versuche reichen, den mit todtten Erbsen erzogenen Spaltpilzen analog sich diejenigen verhielten, welche in Fleischbrühe, oder in verdünnter Lösung von weinsaurem Ammoniak oder Rohrzucker ihren Ursprung genommen hatten.

Die durch ungleiche Vertheilung der Nährstoffe auf Spaltpilze ausgeübte Reizwirkung besteht, analog wie die chemischen Reizwirkungen auf Samenfäden der Farne, Moose u. s. w., in einer entsprechenden Orientirung der Achse des Körpers dieser Organismen, die nun in der so vorgeschriebenen Richtung mittelst ihrer eigenen Bewegungsthätigkeit fortschreiten. Doch diese Richtungswirkung allein reicht nicht aus bei den Bakterien, die

¹⁾ Nach BUCHNER (Sitzungsb. d. Bayer. Akad. 1880. p. 370) scheinen z. B. Milzbrandbakterien fast nur mit Eiweiß und Pepton fortzukommen, und auch für die Ernährung der Heubakterien sind manche Stoffe, wie weinsaures Ammoniak, nicht geeignet.

kein vorn und hinten haben und sich unter normalen Verhältnissen parallel der Hauptachse bald vorwärts, bald rückwärts bewegen. Um also nach einem Punkte vorzurücken, muss diese Bewegung durchschnittlich nach einer Richtung hin gefördert werden und diese Förderung geht bei kräftiger Reizwirkung auf *Spirillum undula* so weit, dass dieser Organismus ganz häufig direkt, ohne auch nur einmal eine rückschreitende Bewegung zu beginnen, der Capillare zusteuert. Gleiches habe ich auch vielfach an einzelnen Individuen von *Bacterium termo* verfolgt, während andere Exemplare in der Anziehungssphäre der Capillare, und während sie nach dieser vorrückten, zeitweise eine rückschreitende Bewegung machten.

Außer diesem Richtungsreize veranlasst die Zufuhr von Nährstoffen auch noch beschleunigte Bewegung der Spaltpilze, dieses aber auch dann, wenn durch homogene Vertheilung der Nährstoffe keine Veranlassung zu einem Richtungsreiz gegeben ist. Diese Beschleunigung fällt naturgemäß zumeist mit der fortschreitenden Richtungsbewegung zusammen, welche die Bakterien in die und durch die Diffusionszone der anlockenden Nahrung führt, doch müssen die Bewegungsbeschleunigung und der Richtungsreiz als zwei besondere und nicht nothwendig mit einander verkettete Reizwirkungen aus einander gehalten werden. In der That erfährt ein Spaltpilz nicht unter allen Umständen eine Bewegungsbeschleunigung, während er, dem Richtungsreize folgend, in das anlockende Medium steuert. So wird sogar die Bewegung verlangsamt, während *Bacterium termo* in eine Capillare seinen Weg nimmt, deren Flüssigkeit neben 1 bis 2 Proz. Fleischextrakt 25 bis 40 Proz. Chlorcalcium enthält. Ferner ging *Spirillum undula* ohne merkliche Zunahme der Geschwindigkeit in eine Capillare mit 2.5 Proz. Fleischextrakt, nachdem zuvor durch Zusatz von etwas Fleischextrakt zur Nährflüssigkeit die größtmögliche Bewegungsschnelligkeit dieses Organismus hergestellt war.

Der Fall, dass dasselbe Agens gleichzeitig zwei verschiedene Wirkungen oder speziell zwei verschiedene Reizwirkungen ausübt, ist übrigens keineswegs selten¹⁾. So fällt und steigt z. B. mit der Temperatur, sowie mit allseitiger Zunahme oder Abnahme der Helligkeit, die Wachstums-schnelligkeit, während zugleich die Temperaturschwankung als solche in gewissen Blüthen und einseitige Beleuchtung im Heliotropismus als besondere Reize wirken, und analoge Beziehungen, wie in unserem speziellen Falle, bietet das Verhältniss der Bakterien zum Sauerstoff, der zu ihren Bewegungen nöthig ist und zugleich Richtungsreiz wird, sofern er ungleichmäßig im Wasser vertheilt ist. Überhaupt muss ja eine solche doppelte Beziehung zum äußeren Agens jedesmal obwalten, wenn in diesem eine allgemeine Lebensbedingung geboten ist, mit deren Ausmaß die Thätigkeit steigt und fällt, und außerdem noch irgend eine andere Reizwirkung durch

4) Vgl. PFEFFER, Pflanzenphysiol. Bd. 2. p. 117 u. 286.

einen einseitigen Angriff, durch Veränderung der Intensität des Agens oder in irgend anderer Weise erzielt wird.

Das Auseinanderhalten solcher, mindestens im Erfolge verschiedener Reizwirkungen ist naturgemäß geboten, auch dann, wenn vielleicht in manchen solcher Vorgänge eine nähere Einsicht in den ganzen, den Reiz und den Erfolg verkettenden Prozess, einen inneren genetischen Zusammenhang zwischen beiden durch die Variation eines Agens gleichzeitig erzielten Aktionen aufdecken würde. Es wird auch die oben geltend gemachte Auseinanderhaltung der beiderlei Reizwirkungen der Nährstoffe auf Spaltpilze keineswegs deshalb minder geboten, weil die homogene Zunahme von Nährmaterial auch für die Richtungsbewegung von Bedeutung ist, wie sich darin ausspricht, dass mit steigendem allseitigen Reize die Unterschiedsempfindlichkeit der Spaltpilze voraussichtlich conform dem WEBER'schen Gesetze geändert wird. Übrigens gilt das ja ebenso für die Samenfäden, die durch ihr spezifisches Reizmittel keine Bewegungsbeschleunigung erfahren.

Die Ansammlung der Spaltpilze in dem Nährmaterial ist die Folge eines Reizes, der diese Organismen veranlasst, sich nach bestimmter Richtung zu bewegen, und kommt nicht etwa dadurch zu stande, dass die zufällig in die reichlichere Nahrung gelangenden Bakterien sich hier allmählich sammeln, weil sie bei dem Versuche, wieder in verdünntere Nahrung zurückzutreten, zurückschrecken. Diese Ursache bedingt nach ENGELMANN¹⁾ die Ansammlung von *Bacterium photometricum* im Lichte, indem es bei der Ankunft an minder helle Stellen zurückschreckt. Dass dieser Umstand aber für die Ansammlung der Bakterien in Nährlösung so wenig wie für die Wanderung der Samenfäden nach ihrem spezifischen Reizmittel gilt, lehrt schon zur genüge das aktive Zusammenwandern der von ihrer Bahn abgelenkt werdenden Organismen. Das Zurückprallen der Bakterien an der Mündung der Capillare, wenn sie aus dieser herauszusteuern streben, erklärt sich ebenso wie bei den Samenfäden der Farne damit, dass mit dem Übergang in minder wirksame Lösung ein erneuter Reiz die Bakterien zurücktreibt.

Es genügt, nur kurz darauf hinzuweisen, dass der Sauerstoffgehalt in der Capillarflüssigkeit, oder die Diffusionsbewegung als solche, oder die Vermehrung der Spaltpilze in der Nährlösung die Ursachen der besprochenen Ansammlungen nicht sein können. Dass Sauerstoffgehalt die Bakterien nicht in die Capillare lockt, ergibt sich schon zur genüge daraus, dass diese Organismen sich in einer Wasser führenden Capillare nicht sammeln, obgleich die Capillare, wie in anderen Versuchen mit positivem Resultate, in ihrem oberen Theile Luft enthält, und dass das Einschwärmen in Nährlösung auch dann noch fort dauert, wenn die Anhäufung der Bacte-

1) PFLÜGER'S Archiv für Physiologie 1882. Bd. 30. p. 110.

rien um die Luftblase in der Capillare beweist, dass die Capillarflüssigkeit relativ arm an Sauerstoff ist. Auch wird starke Ansammlung der Spaltpilze durch Fleischextrakt u. s. w. auch dann erzielt, wenn die Capillare ganz vollständig mit ausgekochter und deshalb verhältnissmäßig luftfreier Flüssigkeit gefüllt ist.

Die Diffusionsbewegung als solche ist als Ursache der Reizwirkung ausgeschlossen, weil, trotz der auch thätigen Diffusion, diejenigen Stoffe, welche keine Nährstoffe sind, eine Ansammlung der Spaltpilze nicht bewirken. Die direkte Beobachtung zeigt ferner, dass es sich um ein Zusammenströmen, nicht um eine rapide Vermehrung dreht¹⁾, die übrigens in 1 oder einigen Minuten keine solchen Ansammlungen von Spaltpilzen erzielen könnte. Natürlich wird auch die Vermehrung in der guten Nährlösung schneller fortschreiten, als außerhalb derselben.

Schon mehrfach ist der Analogien gedacht, welche zwischen der Wirkung der Nährstoffe und des Sauerstoffs bestehen, der selbst als ein Nährstoff aufgefasst werden kann, wenn man dem Begriff dieser einen weiteren Umfang gibt. Sauerstoff, wie Nährstoffe, wirken bei ungleicher Vertheilung als Reize, welche locomotorische Richtungsbewegung beweglicher Bakterien veranlassen, und das Zusammenwirken beider Agentien ist für die Bewegungsthätigkeit der Bakterien nöthig, die sowohl durch Zufuhr von Sauerstoff, als auch durch Zufuhr von Nährstoffen gesteigert wird, so lange noch nicht die unter den gegebenen Verhältnissen größtmögliche Bewegungsschnelligkeit erreicht ist.

Wird durch geeignete Gährungsvorgänge die nöthige Betriebskraft gewonnen, so vermögen sich zwar gewisse Spaltpilze ohne freien Sauerstoff zu vermehren, ihre Schwärmbewegung aber ist an die Zufuhr von Sauerstoff gekettet und steht sogleich nach Entziehung dieses still. Ebenso erlischt diese Bewegung, auch wenn Sauerstoff reichlich geboten ist, mit Entziehung der Nährstoffe sehr schnell, und wir ersehen hieraus, dass in dem bekanntlich sehr energischen Stoffwechsel der Spaltpilze, in dem Körper dieser ein schneller Umtrieb des Aufgenommenen sich abspielt und, in diesen bewegten Zuständen wenigstens, eine Aufspeicherung von Material unterbleibt, aus dessen Verwerthung, nach Entziehung der äußeren Nahrungsquelle, der Spaltpilz noch längere Zeit die zu Bewegungen nöthige Betriebskraft gewinnen könnte. Zufuhr und Consum der Nährstoffe gehen also in den Bakterien in analoger Weise Hand in Hand, wie Zufuhr und Consum von Sauerstoff bei diesen und höheren Pflanzen, deren Wachsthum und Bewegung ja sogleich mit Entziehung des Sauerstoffes stille steht²⁾.

1) Die Generationsdauer der schneller wachsenden Spaltpilze beträgt im Durchschnitt etwa 25 Minuten. Vgl. BUCHNER in Sitzungsber. d. Bayer. Akad. 1880. p. 375.

2) Bei Bakterien, sowie bei Samenfäden erfolgt die Reaktion unmittelbar nach Herstellung der besprochenen Reizbedingungen, dafür ist aber auch eine Nachwirkung von merklicher oder nennenswerther Dauer nicht zu bemerken. Eine, wenn auch auf ein

Gegen Sauerstoff sind übrigens die Spaltpilze im allgemeinen empfindlicher als gegen Nährstoffe¹⁾. Denn wenn gute Nährstoffe auch noch in sehr verdünnter Lösung einen merklichen Richtungsreiz ausüben, so ist doch eine immerhin etwas größere Menge nöthig als von Sauerstoff, von dem nach ENGELMANN schon der trillionste Theil eines Milligramms ausreicht, um eine merkliche Reizwirkung auszuüben. Im Verhältniss zur Körpergröße dieser winzigen Organismen ist aber, wie schon früher hervorgehoben wurde (p. 382), diese minimale Stoffmenge eine relativ immerhin nennenswerthe Größe.

Da also sowohl Sauerstoff, wie Nährstoffe die Bewegung der Spaltpilze beschleunigen und, bei einseitigem Angriff, Richtungsbewegungen derselben veranlassen, müssen zu causaler Erklärung dieser immer beiderlei Ursachen in Erwägung gezogen werden. Es gilt dieses auch für alle Fälle, in denen die Ansammlung der Bakterien als Reagens dienen soll, denn z. B. um eine Pflanzenzelle, die organische Nahrung secernirte, würden sich diese Organismen ebenso gut einfinden, wie um eine solche, die Sauerstoff abgibt. Es bedarf solche Ansammlung also in causaler Hinsicht immer einer strengen Kritik, doch wird damit keineswegs die Brauchbarkeit der von ENGELMANN²⁾ angewandten und in vielen Fällen ausgezeichneten Methode beeinträchtigt, in der Bewegung und Ansammlung der Bakterien als Reagens auf Sauerstoff dient. Denn dass dieser, und nicht die an sich ja nicht unmögliche Ausscheidung organischer Stoffe die Ursache ist, dass chlorophyllführende Zellen bei Beleuchtung in ihrer Umgebung die Bewegung von Bakterien veranlassen, welche in dem sauerstoffarmen Medium zuvor ruhend waren, ergibt sich schon aus dem Umstande, dass die Beleuchtung chlorophyllfreier Zellen solche Reaktion nicht verursacht.

XI. Saprolegnia, Flagellaten und Infusorien.

Unter den mit locomotorischer Bewegung begabten vegetabilischen Organismen constatirte ich noch für die Zoosporen von *Saprolegnia ferax*

Minimum von Zeit beschränkte Nachwirkung muss übrigens bestehen, und es ist ja z. B. natürlich, dass der Samenfaden noch einen Augenblick in seiner bisherigen Richtung fortschießt, auch wenn der Richtungsreiz plötzlich aufhören würde.

1) Die Empfindlichkeit gegen Sauerstoff ist bei den Spaltpilzen spezifisch verschieden. So besitzt *Bacterium photometricum* nach ENGELMANN (PFLÜGER's Archiv für Physiologie 1882. Bd. 30. p. 406) eine geringere Empfindlichkeit für Sauerstoff, welche bei Fäulnisbakterien und noch mehr bei *Spirillum* sehr groß ist (ibid. 1884. Bd. 26. p. 544). Eine analoge Reizwirkung übt Sauerstoff auch auf *Paramecium* und andere Infusorien aus (ENGELMANN, ibid. 1882. Bd. 29. p. 394).

2) Bot. Zeitung 1884. p. 444.

eine anziehende Reizwirkung durch Fleischextrakt und dem entsprechend durch Fleischstückchen. Welcher Stoff oder welche Stoffe Reizmittel für diese Zoosporen sind, habe ich nicht weiter ermittelt und meine Untersuchungen sind auch noch in anderer Hinsicht lückenhaft, da ich nicht feststellte, unter welchen Umständen die sonst sehr auffällige Anziehung durch Fleischextrakt unterbleibt.

Ausgezeichnete Resultate erhielt ich, als ich in einer 6—8 cm weiten Krystallisirschale, in einer $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ cm hohen Wasserschicht *Saprolegnia ferax* auf Fliegenbeinen cultivirte. Auf diesen war dann bei einer Temperatur zwischen 22 bis 25° C. schon nach 24 Stunden die Entwicklung bis zur Bildung der Zoosporen fortgeschritten, die bei Verwendung von 10 bis 15 Fliegenbeinen sehr reichlich und sehr lebhaft im Wasser herum schwärmten.

Wurde dann zu diesen Zoosporen ein eben abgerissenes Bein einer Stubenfliege gebracht, so strömten nach diesem, insbesondere nach der Wundstelle des Beines hin, die Zoosporen so massenhaft zusammen, dass schon nach $\frac{1}{4}$ Minute an dieser Wundstelle sehr zahlreiche Zoosporen sich fanden, die nach 1 Minute eine dichte Anhäufung der an dieser Stelle schnell zur Ruhe kommenden Schwärmsporen gebildet hatten.

Eine ausgezeichnete Anziehung erhielt ich aber auch, als ich in eine solche Cultur eine einseitig zugeschmolzene Glascapillare brachte, welche als Inhalt $\frac{1}{2}$ prozentige Fleischextraktlösung enthielt. Die Zoosporen eilten sogleich massenhaft in diese Capillare, in der nach 5 Minuten einige hundert jener angesammelt waren. Ebenso brachte eine Capillarflüssigkeit mit $\frac{1}{16}$ Proz. Fleischextrakt eine immer noch recht ansehnliche Ansammlung der Schwärmsporen von *Saprolegnia* hervor. Auch wenn dafür gesorgt wurde, dass in dem Wasser sich nur wenige Zoosporen befanden, trat die Reizwirkung des Fleischextraktes auf diese sehr evident durch die natürlich unter diesen Umständen absolut geringere Ansammlung von Zoosporen hervor.

Ein anderes Resultat erhielt ich dagegen mit Culturen, die in gleicher Weise angestellt waren, in denen sich aber, weil bei niedrigerer Temperatur (10—15° C.) gehalten, Zoosporen erst nach 2 bis 3 Tagen gebildet hatten. Die nicht so flink bewegten Zoosporen erfuhren jetzt durch Fliegenbeine eine ganz schwache oder gar keine Anziehung. Dieses war auch dann noch der Fall, als die Temperatur des Wassers vor dem Versuche auf 20° C. erhöht wurde, wodurch diese Zoosporen wohl etwas lebhafter, jedoch nicht so flink wurden, als diejenigen, welche in den vorgenannten Culturen durch Fleischextrakt energisch gereizt wurden.

Vielleicht hing dieser verhältnissmäßige oder gänzliche Indifferentismus mit der geringen Bewegungsfähigkeit der Zoosporen zusammen, und dass mit solcher die Empfindlichkeit abnimmt, wurde, wie früher mitgetheilt, auch für die Samenfäden der Farne und der Moose beobachtet. Da

ich aber diesen Gegenstand nicht weiter verfolgte, muss ich dahin gestellt sein lassen, ob die oben ausgesprochene Vermuthung richtig ist, und ob diese selbst bis zur Unmerklichkeit verminderte Reizbarkeit zufällig in meinen Versuchen sich einstellte oder sich unter bestimmten Culturbedingungen constant ergibt.

Übrigens lassen die folgenden Versuche vermuthen, dass noch andere Umstände die Ansammlung der Zoosporen von *Saprolegnia ferax* an Fliegenbeinen und in Fleischextrakt verhindern können. Gegen beide verhielten sich nämlich so gut wie indifferent lebhaft bewegte Zoosporen, die unter Deckglas sich befanden. Unter verschiedenen Faktoren, die in Betracht zu ziehen wären, könnte man auch daran denken, dass schon eine geringe Menge des Reizmittels im umgebenden Wasser die Empfindlichkeit der Zoosporen sehr abstumpft, doch kann erst eine nähere Untersuchung über diese und andere Fragen entscheiden.

Gelegentlich der oben behandelten und anderer Untersuchungen kamen auch einige Flagellaten und Infusorien zur Beobachtung. Unter diesen wurde *Trepomonas agilis* Dj., eine chlorophyllfreie Flagellate, massenhaft in eine Capillare mit Lösung von Fleischextrakt gelockt, während *Euglena viridis* sich gegen Fleischextrakt und gegen Grasdecoct indifferent zeigte. Andere Organismen der oben genannten Familien, unter ihnen *Chilomonas paramecium* EHRBG. und *Cyrtostomum leucas* Str., wurden von Fleischextrakt nicht oder, wie *Chilomonas*, nur schwach angezogen, doch sammeln sich die beiden eben genannten Objekte mehr oder weniger entschieden um Fliegenbeine.

XII. Allgemeines.

Nach den mit Samenfäden, Spaltpilzen und Schwärmsporen von *Saprolegnia* gewonnenen Resultaten kann man nicht zweifeln, dass chemische Reize vielfach, in Anpassung an die Lebensweise frei beweglicher Organismen, dazu dienen, diese an die zu ihrem Wirken und Fortkommen geeigneten Stätten zu führen. So wird man auch an Reize durch einen ausgeschiedenen Stoff zunächst denken, um die Beobachtungen A. FISCHER's¹⁾ zu erklären, nach denen die Schwärmer der Parasiten von *Saprolegnieen*, von *Olpidiopsis*, *Rozella* und *Woronina* nur an ihre spezifischen Nährsaprolegnien sich festsetzen. Ob diese Auswahl von der spezifisch differenten Empfindlichkeit dieser Schwärmer abhängt, muss freilich erst, wie die ganze Frage, empirisch entschieden werden, um so mehr, als für Ansetzen und Fort-

1) Jahrb. f. wiss. Bot. 1883. Bd. 13. p. 303.

entwicklung verschiedene Faktoren in Betracht kommen. Nahe liegt u. a. auch die Annahme, dass die Schwärmer von *Pythium*, *Chytridium* und anderen Parasiten auf ihrem Wege zu den Nährpflanzen von chemischen Reizwirkungen geleitet werden.

Richtungsbewegungen durch chemische Reize werden sicherlich auch noch vielfach für die nicht zu freier Ortsbewegung befähigten Pflanzen aufgedeckt werden, in denen ja chemische Reizungen mannigfachst eingreifen und bekanntlich bei *Drosera*, *Dionaea* und anderen fleischverdauenden Pflanzen auch Krümmungsbewegungen veranlassen. Diese finden zwar, unabhängig von der Angriffsrichtung des Reizes, in einer bestimmten Bahn statt, doch macht sich bei *Drosera* eine Abhängigkeit von der Reizrichtung in so fern bemerklich, als bei Fortleitung des Reizes von einem Haare zum anderen die so gereizten Drüsenhaare sich nicht, wie bei direkter Reizung ihres eigenen Köpfchens, nach der Blattmitte krümmen, sondern nach dem Haare hin, von welchem der Reiz ausging¹⁾, und auch die Einrollung der Blattlamina von *Drosera* und *Pinguicula* ist, wenn auch stets nach der Innenseite, doch immerhin nach dem Reizmittel hin gerichtet.

Wachsthumskrümmungen, als deren Ursache eine chemische Reizwirkung zunächst die größere Wahrscheinlichkeit für sich hat, kennen wir durch DE BARY²⁾ für die in Wasser wachsenden *Saprolegnien*. Die Nebenäste dieser Pflanzen krümmen sich nämlich, wenn sie in die Nähe eines Oogoniums von bestimmtem Entwicklungsstadium gelangen, nach dem Oogonium hin, und zugleich ist die Bildung des Antheridiums an dem Nebenaste eine Folge dieser Reizwirkung, welche aber an ein bestimmtes Entwicklungsstadium geknüpft ist, ungefähr mit der Abgrenzung des Oogoniums beginnt und nach der Eibildung aufhört. Auch die in das Oogonium eingewachsenen Befruchtungsschläuche wenden sich in Folge einer Reizwirkung dem Ei zu³⁾. Ferner fand KIHLMAN⁴⁾, dass die Ascospore von *Melanospora parasitica* während und einige Zeit nach der Keimung bis auf eine Entfernung der 4 bis 5 fachen Sporenlänge durch die umgebende Flüssigkeit hindurch auf die wachsenden Schläuche von *Isaria farinosa* einen Reiz ausübt, welcher diese veranlasst, sich nach der Spore von *Melanospora* hinzukrümmen.

Für die eben besprochenen Beispiele ist zwar als Ursache eine chemische Reizwirkung noch nicht festgestellt, die aber jedenfalls weit mehr

1) DARWIN, Insektenfressende Pflanzen 1876. p. 221.

2) Beiträge zur Morphologie und Physiologie d. Pilze 1881. IV. Reihe. p. 85. 90. — Außerdem scheint diesen Schläuchen eine den Ranken analoge Reizbarkeit durch Contact zuzukommen.

3) DE BARY, l. c. p. 40.

4) Zur Entwicklungsgeschichte d. Ascomyceten 1883. p. 12 (Sptzg. aus Acta Soc. Scient. Fenn. Bd. 13).

Wahrscheinlichkeit für sich hat, als eine Reizwirkung durch die Diffusionsbewegung als solche, oder etwa durch elektrische Wirkung ¹⁾.

Vermuthlich wird eine von richtigen Gesichtspunkten geleitete Forschung unter den mannigfachen Reizwirkungen, die nutzbringend im Dienste der Pflanze verwendet sind, auch chemische Reizwirkungen aufdecken. An solche ist z. B. da zu denken, wo es sich um die Leitung von Parasiten zur Nährpflanze oder allgemein um Aufsuchen von Nahrung, sei es durch Pilze oder durch Wurzeln und Wurzelhaare handelt, ferner in den mannigfachen Copulationsvorgängen der Pilze und Algen, auch bei der Leitung des Pollenschlauches zur Eizelle.

Das Hinwachsen der Keimschläuche von *Saprolegnia* zu Insectenlarven, welches A. FISCHER ²⁾ angiebt, wäre als eine vermuthliche Folge chemischer Reizwirkung für diese Pflanze durchaus zweckentsprechend. Ich will auch nicht die Richtigkeit dieser Beobachtung bestreiten, jedoch bemerken, dass die Bedingungen, unter welchen Ablenkung erfolgt, näher zu ermitteln sind, da bestimmt ein Fliegenbein in unmittelbarster Nähe durchaus keine Anziehung auf die aus Schwärmern von *Saprolegnia ferax* hervorgewachsenen Keimschläuche ausübte, als ich diese in erstarrter Gelatine sich entwickeln ließ, in welcher auch ein Fliegenbein eingebettet war. Dieses negative Resultat ist aber in dieser Frage um so weniger entscheidend, als auch die Zoosporen von *Saprolegnia* sich je nach Umständen verschieden gegen Fliegenbeine und Fleischextrakt verhielten (p. 467).

Wie obige wurden auch Versuche nicht kritisch weiter verfolgt, in denen wenige Sporen von *Penicillium glaucum* oder *Phycomyces nitens* in 4 1/2 prozentiger Gelatine zum Keimen gebracht wurden, die neben einer kleinen Menge anorganischer Nährsalze etwas Zucker oder weinsaures Ammoniak enthielt. Nach Bildung des Keimschlauches wurde dann bis in die Nähe dieses die Öffnung einer Capillare geschoben, die 8 prozentige Lösung von Grasextrakt enthielt. Während dieses langsam in die Gelatine diffundirte, erfuhren die energisch fortwachsenden Pilzhypen keine Ablenkung, verzweigten sich aber, besonders bei Verwendung nährstoffarmer Gelatine, reichlicher in der Diffusionszone des Grasextraktes. Ebenso erfuhren die dicht an der Narbe von *Typha latifolia* vorbeiwachsenden Pollenschläuche dieser Pflanze keine Ablenkung, als die Keimung in einer 40 Proz. Rohrzucker oder Traubenzucker enthaltenden 4 1/2 prozentigen Gelatine vor sich ging ³⁾.

1) NÄGELI (Theorie d. Abstammungslehre 1884. p. 388) vermuthet, dass elektrische Anziehung bewegliche Sexualzellen zusammenführt.

2) Jahrb. f. wiss. Bot. 1882. Bd. 13. p. 304.

3) Nach KNY (Sitzungsb. d. Brandenburg. Bot. Vereins Bd. 23. Juli 1884) kommt den Pollenschläuchen weder Heliotropismus noch Geotropismus zu, und auch durch Contact sind sie nicht reizbar. Dagegen vermuthet TOMASCHEK (Sitzungsb. d. Wien. Akad. 1884. Bd. 84. Abth. 1. p. 612) hydrotropische Bewegungen der Pollenschläuche. Über den thatsächlichen Weg der Pollenschläuche in die Narbe vgl. DALMER, Über die Leitung d. Pollenschläuche 1884, Sptzg. aus Jenaisch. Zeitschrift f. Naturw. 1880. Bd. 14.

Ich unterlasse es, hier näher auf diese Experimente einzugehen, durch welche die Frage nicht erledigt ist, ob Krümmungsbewegungen durch chemische Reize in den genannten Objekten erzielt werden.

In größter Allgemeinheit spielen aber chemische Reizwirkungen im Stoffwechsel des Organismus sich ab, sei es um den Anstoß zu chemischen Prozessen zu geben, oder sei es, dass solche als auslösende Ursache Wachstums- und Bewegungsvorgänge reguliren oder veranlassen. Denn wenn z. B. eine Pflanze erst mit Zufuhr von Sauerstoff ihr Wachsthum beginnt oder dieses beschleunigt, so ist hier der Sauerstoff der äußere Reiz, der, vermöge seiner Affinitäten in den Stoffwechsel eingreifend, zugleich zu einer Kette von Vorgängen Veranlassung giebt, in denen Spannkraft in lebendige Kraft im Dienste des Organismus umgesetzt, eine Auslösung also durch jenen Eingriff des Sauerstoffs, gleichviel ob in direkter oder in indirekter Weise, vermittelt wird. Ebenso wird durch Kalium oder Phosphorsäure das Wachsthum einer Pflanze beschleunigt oder veranlasst, wenn dieses zuvor durch den Mangel an jenen Stoffen gehemmt war oder stille stand.

Überhaupt beruht ja in der Umsetzung eines aufgenommenen Nährstoffes nach chemischen Äquivalenten nicht seine einzige Bedeutung für den Organismus, in welchem harmonisches Zusammenwirken der zum Leben gehörigen Thätigkeiten nur durch Verkettung dieses einen Prozesses mit anderen möglich ist, und in diesen mannigfachen Verkettungen handelt es sich wohl nie allein um Übertragung von lebendiger Kraft, um Vorgänge also, in denen die in einem Systeme geleistete Arbeit dem Verluste von Energie in dem einwirkenden Systeme äquivalent ist, sondern auch um auslösende Wirkungen, deren Eigenheit eben darin besteht, dass sie nur den Anstoß zur Umsetzung von Spannkraft in lebendige Kraft geben, ein Prozess, in dem ein äquivalentes Verhältniss zwischen der Energie des auslösenden und ausgelösten Vorganges nicht bestehen muss¹⁾.

Zur richtigen Würdigung dieses Zusammenhanges, der uns im allgemeinen in den Nährstoffen und ihrer nächsten Verarbeitung den Ausgangspunkt von Reizwirkungen im Organismus erkennen lässt, bedarf es noch nicht der näheren Kenntniss der unter Umständen sicher sehr complicirten Verkettung zwischen dem äußeren Anstoß und dem als eine endliche Folge uns entgegentretenden Vorgang des Stoffwechsels oder Kraftwechsels, ein Zusammenhang, der uns überhaupt noch in keinem Falle zwischen Reiz und Reizerfolg lückenlos aufgedeckt ist (vgl. p. 395).

Es bedarf wohl kaum eines längeren Hinweises, dass nicht allein ein unentbehrlicher Nährstoff, sondern auch andere Körper, als chemische Reizmittel, übrigens in analogem Sinne wie die Nährstoffe, eingreifen können. Unter vielen Beispielen will ich deshalb hier nur erinnern an das Chloro-

1) Vgl. PFEFFER, Pflanzenphysiol. 1881. Bd. 1. p. 4.

form, das die Reizbewegungen von *Mimosa pudica* und die Strömungen im Protoplasma sistirt, und erwähnt sei noch das Ammoniak, das, nicht vermöge seiner Eigenschaft als Nährstoff, in Gasform Reizbewegungen von *Mimosa*, Staubfäden von *Berberis* u. s. w. auszulösen vermag und schon in großer Verdünnung die Strömungen im Protoplasma zum Stillstand bringt.

Schon die Erwägung, dass irgend ein äußerer Anstoß im Organismus weiterhin durch Reizwirkungen mit dem endlichen Erfolge verkettet sein kann, führt auf innere Reize, d. h. auf Vorgänge irgend welcher Art im Organismus, welche die auslösende Ursache irgend welcher Prozesse werden. Ohne innere Reize ist die zur Existenz des Organismus unerlässliche Wechselwirkung zwischen Zellen und Organen undenkbar, welche in jeder Pflanze in zweckentsprechender Weise uns entgegentritt¹⁾. In diesen Wechselwirkungen sind sicher auch sehr oft chemische Körper und chemische Prozesse innere auslösende Ursachen, und z. B. ein Reiz sind die Stoffmetamorphosen in einer austreibenden Knospe jedenfalls gegenüber denjenigen Stoffmetamorphosen, welche fern von der wachsenden Knospe im Stamme des Baumes sich abspielen, während die hier deponirten Reservestoffe, eben durch den Stoffwechsel in den wachsenden Knospen veranlasst, chemische Metamorphosen erfahren, um zu den fernen Verbrauchsorten zu wandern. Ein Aufdecken des causalen Zusammenhanges dieser Wechselwirkungen — gewiss ein dankbares und bedeutungsvolles Gebiet für künftige Forschungen — wird sicher auch in speziellen Fällen Fermente als innere Reizursache öfters kennen lehren. Als solche treffen wir diese chemischen Reizmittel schon z. B. in den Fällen, in welchen sie aus dem Samenanlage des Mais, der Dattel u. s. w. in das Endosperm ausgeschieden, in letzterem chemische Metamorphosen verursachen.

Obige Hinweise werden genügen, um die Allgemeinheit auch chemischer Reize im Dienste des Organismus zu kennzeichnen, und ich will nur noch auf die Drüsenhaare von *Drosera* hinweisen, in welchen, wohl sicher durch Übertritt eines Stoffes, die Zusammenballung im Zellsaft veranlasst wird, welche in ihrem Fortschreiten von Zelle zu Zelle zugleich ein schönes Beispiel der Ausbreitung eines chemischen Reizes ist²⁾.

Das Wort »Reiz« ist durchgehends in dem weiteren Sinne genommen, in welchem es sich im Sprachgebrauch der Thierphysiologie seit Jahren eingebürgert hat³⁾, wenn ich auch nirgends gerade die präzise Definition gefunden habe, dass jede auslösende Wirkung auf den und in dem lebenden Organismus als Reiz zu bezeichnen ist. Reizbarkeit kommt hiernach

1) Vgl. PFEFFER, l. c. p. 310.

2) Vgl. PFEFFER, Osmot. Untersuchungen 1877. p. 196.

3) Vgl. z. B. R. MÜLLER, Physiol. d. Menschen 1844. IV. Aufl. p. 27; FECHNER, Elemente d. Psychophysik 1860. p. 17; HERMANN, Grundriss d. Physiologie 1870. III. Aufl. p. 6, 297 u. a.

nur dem lebenden Organismus zu, und nur insofern die Auslösung an den lebenden Zustand des Organismus gekettet ist, haben wir dann von Reiz und Reizwirkung zu reden.

Der allgemeine Begriff der Auslösung gilt also auch für die Reizung, die nur ein spezieller Fall jener ist, und der Reizung, wie der Auslösung, steht die mechanische Übertragung oder äquivalente Umsetzung gegenüber. Während in letzterer nur Wechselwirkungen nach mechanischen Äquivalenten stattfinden, ist das auslösende Agens nur der Anstoß, durch welchen Spannkkräfte in Action gesetzt werden. So ist es eine Auslösung, wenn der Flügelschlag eines Vogels etwas Schnee am Bergesgipfel loslöst, der zur Lawine anwachsend zu Thale donnert, oder der Fingerdruck des Telegraphisten durch Schluss der Kette die Signalglocken der Eisenbahn zum Läuten bringt ¹⁾. Diese und andere Beispiele lehren unmittelbar, dass ein mechanisch äquivalentes Verhältniss zwischen auslösendem Anstoß und ausgelöster Action nicht besteht und auch beide in qualitativer Hinsicht incommensurabel sind, wie ja natürlich, da die Qualität der Leistung durchaus von dem in Action gesetzten Systeme und seiner spezifischen Leistungsfähigkeit abhängt. Es gilt dieses ebenso für Reiz und Reizwirkung im Organismus, und ich brauche nur daran zu erinnern, wie z. B. nicht commensurabel sind die reizende Äpfelsäure und die durch sie veranlasste Körperwendung eines Samenfadens, oder der Lichtstrahl und der durch ihn angeregte Heliotropismus. Übrigens verweise ich auf meine Pflanzenphysiologie, in welcher ich die auf unseren Gegenstand bezüglichen Grundzüge entwickelte.

Indem wir auslösende Wirkungen auf den und in dem Organismus Reize nennen, ist vollständig definirt, was unter Reiz zu verstehen ist, und so weit als in physikalischen und chemischen Fragen mechanische Übertragung und Auslösung auseinander zu halten sind, wird dieses im allgemeinen auch in physiologischen Fragen möglich sein, sofern in die be-

¹⁾ Nachdem DUTROCHET (Réch. sur la structure intime d. animaux et d. végétaux 1824. p. 107. 117. 130 u. s. w.) klare Vorstellungen über die nur auslösende Wirkung von Licht und Schwerkraft im Heliotropismus und Geotropismus ausgesprochen (gegen die er übrigens selbst theilweise in späteren Jahren verstieß), lässt die botanische Literatur bis in die jüngere Zeit im allgemeinen eine richtige Würdigung des Verhältnisses zwischen auslösender Ursache und ausgelöster Action vermissen, abgesehen etwa von einigen rapiden Reizbewegungen, wie denen der *Mimosa pudica*. Es war dieses wohl zum guten Theil begründet in dem Bestreben, als unmittelbare Wirkungen des äußeren Agens diejenigen Veränderungen anzusehen, welche der mechanischen Action, die als Erfolg einer Reizung uns entgegentritt, zunächst zu Grunde liegen. Eine allgemeine umfassende und richtige Würdigung des Verhältnisses zwischen auslösender Ursache und ausgelöster Action habe ich dann in meiner Pflanzenphysiologie (1881. Bd. 1. p. 4) entwickelt, in der ich auch das Wort Reiz als gleichbedeutend mit auslösender Wirkung im Organismus benutzte. In der Folge hat dann auch SACHS diesen Gegenstand mit Klarheit behandelt (Vorlesungen über Pflanzenphysiologie 1882. p. 717).

züglichen Vorgänge eine genügende Einsicht gewonnen ist, ohne die begreiflicherweise nicht immer mit Sicherheit eine Entscheidung zu treffen sein wird.

Wie dem Leben kommen natürlich auch dem im Lebensprozesse sich abspielenden Auslösungsvorgang besondere Eigenthümlichkeiten zu, doch dürfte es wohl nicht gelingen, der Reizung ein weiteres Attribut beizulegen, das in eine allgemein gültige Definition passte. So finde ich auch nicht zutreffend den Ausspruch von SACHS¹⁾: »Das den reizbaren Organen Eigenthümliche liegt weniger darin, dass sie vermöge des labilen Gleichgewichtes ihrer Theile in Bewegung gerathen, als vielmehr darin, dass sie später wieder ihren reizbaren Zustand, ihr labiles Gleichgewicht von selbst annehmen.« Denn den Rückgang in den früheren Zustand treffen wir z. B. auch im Telegraphenapparat, dessen Läutewerk nur so lange thätig ist, als der Fingerdruck die Kette geschlossen hält, und in die durch Fermente veranlassten Umsetzungen, die ich, soweit sie im Organismus sich abspielen, zu den Reizwirkungen zähle, werden nicht nothwendig die erzielten Stoffwechselproducte in die Ausgangsstoffe zurückverwandelt. Wohl ist mir bewusst, dass verschiedene Reizvorgänge, trotz des andauernden Reizes, rückgängig werden, aber das gilt nicht allgemein und für alle Organismen ist, ebenso gut wie für mechanische Apparate, Auslösung nur so lange möglich, als Betriebskraft geboten ist.

Die hier behandelten Richtungsbewegungen von Samenfäden, Bacterien und Schwärmern von *Saprolegnia*²⁾ haben mit anderen Richtungsbewegungen gemeinsam, dass das auslösende Agens, um als Reiz zu wirken, einseitig oder wenigstens von einer Seite intensiver wirken muss. Solches ist bekanntlich auch Bedingung in den phototaktischen Bewegungen der Schwärmsporen, der Desmidiaceen, Diatomeen und Myxomyceten, ebenso bei den Richtungsbewegungen der nicht mit freier Ortsbewegung begabten Pflanzen, die als Heliotropismus, Geotropismus, Hydrotropismus, Thermotropismus, Galvanotropismus bekannt sind, sowie bei den durch Berührung erzielten Reizbewegungen der Wurzeln und allseitig empfindlicher Ranken. Diese Krümmungsbewegungen schreiten, so gut wie die locomotorischen Richtungsbewegungen, so lange fort, bis die Körperachse eine bestimmte Stellung gegenüber der Angriffsrichtung des Reizes erreicht hat, doch wird dieses Ziel naturgemäß in formell anderer Weise und mit anderen Mitteln bei den frei beweglichen Organismen erreicht, die einfach eine entsprechende Körperdrehung ausführen können, als bei den festgewurzelten Pflanzen, die nur zu Krümmungsbewegungen befähigt sind. Bei Orthotropismus letzterer ist die Gleichgewichtslage erreicht, wenn die Hauptachse

1) L. c. p. 722.

2) Nach Analogie mit anderen Bezeichnungen könnte man hier von Chymitropismus oder Chymitaxis sprechen.

mit der Angriffsrichtung des Lichtes, der Schwerkraft, des Wasserdampfes zusammenfällt, und Analoges gilt für die durch Licht oder chemische Reize erzielten Reizbewegungen der Schwärmsporen, Samenfäden und Bakterien. Auch der transversale Heliotropismus und Geotropismus findet seine Analogie in dem frei beweglichen Closterium und Pleurotaenium, deren Hauptachse sich nach STAHL¹⁾ senkrecht gegen Licht höherer Intensität stellt.

Jedenfalls ist ein vergleichendes Studium der Reizvorgänge in frei und nicht frei beweglichen Pflanzen geboten, denn um Reizbarkeit des lebendigen Organismus, somit des Protoplastmakörpers, handelt es sich ja in jedem Falle. Die endlichen Erfolge freilich sind dem Zwecke und dem Bewegungsvermögen angepasst und es ist selbstverständlich, dass wir aus der Wendung der Schwärmsporen oder Samenfäden nach dem Lichte oder nach chemischen Reizen hin nicht auf eine durch analoge Reize veranlasste Wanderung des Protoplastmakörpers innerhalb der Zelle schließen können, ja dass zu solchem Schlusse selbst die durch Lichtreiz veranlassten Plasmodienbewegungen der Myxomyceten nicht zwingen. Immerhin wird durch derartige Erfahrungen unser Augenmerk auf die Möglichkeit einer solchen Protoplastmawanderung in Folge äußerer Reize gerichtet, die wenigstens eine Stufe in der Kette von Prozessen vorstellen könnte, welche zwischen Reizursache und dem endlichen Erfolge der Reaction liegen²⁾.

Die uns hier beschäftigenden, ihrer Qualität nach verschiedenen äußeren Reizursachen haben zunächst nur gemeinsam, dass die Flanken des reizbaren Organismus in ungleicher Weise afficirt werden müssen, um eine auslösende Wirkung zu erzielen. Diese wird aber selbstverständlich nur durch die spezifische Sensibilität des Organismus gegen dieses oder jenes Agens ermöglicht, und so lange unbekannt ist, welche nächste Wirkung der äußere Reiz erzielt, lässt sich nicht darüber discutiren, in wie weit bei verschiedenen Reizen Analogien in dem unmittelbaren Vorgang der Perception des Reizes bestehen, und ebenso mangelt uns die nöthige Einsicht, um zu entscheiden, ob und wie die verschiedenen Reizwirkungen in ihrem Verlaufe, oder in einem Theile dieses, Übereinstimmung oder Abweichung bieten.

Die Angriffsweise der Reizursachen aber ist verschieden. Denn während z. B. Licht und Wärme als Ätherschwingungen in das Innere des Organismus sich fortsetzen, und in diesem die Schwerkraft durch die Massenanziehung zur Geltung kommt, gelangt der durch Contact reizende feste Körper in einer hautumkleideten Zelle nicht an den sensiblen Protoplastmakörper selbst, dem also der Reiz durch die Zellwand in analoger Weise vermittelt werden muss, wie Druck oder Reibung durch die Haut den Nerven unseres Körpers. Was die von uns speziell behandelten chemischen Reizmittel anbelangt, so ist die Aufnahme von Sauerstoff und Nähr-

1) Botan. Ztg. 1880. p. 392.

2) Vgl. PFEFFER, Pflanzenphysiol. 1884. Bd. 2. p. 334.

stoffen in Bakterien gewiss, auch die Aufnahme von Äpfelsäure und Rohrzucker in die Samenfäden muss uns ebenfalls wahrscheinlich dünken, doch lässt sie sich aus der Reizwirkung dieser Agentien nicht behaupten. Denn durch die bestimmten Schwingungen in den an den Protoplasmakörper anprallenden Molekülen des chemischen Reizmittels (und solches Anprallen würde auch bei Gegenwart einer Zellhaut zutreffen) könnte ja ein Mittönen im Protoplasmaorganismus, oder speziell in der spezifisch sensiblen Materie dieses, erweckt und so die Auslösung veranlasst werden. Undenkbar wäre das nicht, denn auch die Saite wird in Schwingungen gesetzt durch die Vibration der bestimmten Töne, auf welche sie gestimmt ist, und bestimmte Töne führen im Jodstickstoff Schwingungen herbei, die zur Explosion dieses Körpers führen. Auch liegt bekanntlich NÄGELI's ¹⁾ Theorie der Gährung die Annahme zu Grunde, dass die in die Umgebung fortgepflanzten spezifischen Bewegungszustände des lebenden Organismus der Hefezelle extracellular in den Zuckermolekülen die zu ihrer Spaltung führenden Schwingungen erregen.

Wie sich die Sache in unseren Fällen mit den chemischen Reizmitteln verhält, ist, abgesehen von der Thatsache, dass Nährstoffe in die Spaltpilze eintreten, nicht zu entscheiden. So viel lässt sich aber aus dem Mangel eines Richtungsreizes in homogener Lösung ableiten, dass die Aufnahme als solche nicht zum Reize wird, wie die Bakterien sicher lehren, und dass, sofern die Oberfläche nicht überall gleich gut zur Aufnahme befähigt ist (was ja eher wahrscheinlich ist), die so erzielte ungleiche Aufnahmehätigkeit nicht als Reiz wirkt. Ferner hat die Äpfelsäure weder auf die Lebensdauer, noch auf die Bewegungsschnelligkeit der Samenfäden der Farne einen merklichen Einfluss.

Deshalb wird aber doch bei homogenem Angriff durch die genannten Agentien die Sensibilität des Organismus in Anspruch genommen, ohne dass eine Richtungsbewegung eintritt, die eben nur Folge des Unterscheidungsvermögens des Mehr und Weniger des Reizes ist ²⁾.

Die Reizwirkung des allseitig gleichmäßig angreifenden Agens giebt sich darin kund, dass mit steigendem homogenen Reize erst ein absolut grösserer Intensitätszuwachs des einseitig angreifenden Reizes eine Unterschiedsempfindung zu erwecken vermag. Die Belege hierfür sind speziell für die durch Äpfelsäure reizbaren Samenfäden der Farne erbracht worden (p. 397),

1) Theorie d. Gährung 1879. p. 34.

2) Wie in diesem Falle eine Differenz der Wirkung, d. h. ungleich intensiver Angriff auf verschiedene Flanken des Organismus, wird in anderen Fällen, in denen allseitiger Wechsel in Betracht kommt, die Veränderung in der Intensität des äußeren Agens die Ursache einer Reizung, welche sich in Modifikation des bisherigen Zustandes, sei es durch eine Bewegung oder einen anderen Vorgang kund giebt. So kommt dann der Organismus in den der Stabilität äußerer Angriffe entsprechenden Gleichgewichtszustand, in welchem er sich übrigens, wie aus dem Texte hervorgeht, in einem Reizzustand befinden kann.

doch ist bei dieser Gelegenheit darauf hingewiesen, wie die obige Beziehung zwischen Reiz und Reizzuwachs, wenigstens in allgemeinsten Form, für viele andere Reizungsvorgänge sicher oder mit Wahrscheinlichkeit Gültigkeit hat, und ich möchte annehmen, dass dieses speziell für sämtliche oben genannte Richtungsreize gilt, die durch einseitigen Angriff zur Geltung kommen.

Die obige Beziehung etwas anders ausgedrückt sagt also, dass die Empfindlichkeit oder die reizempfindliche Stimmung des Organismus durch die allseitige Reizwirkung abgestumpft wird und zwar um so mehr, je größer diese wird. Solche Stimmungsänderung ist aber nur Folge der Reizwirkung, mit der sie steigt und fällt, ist keine Stimmungsänderung, die dem Organismus, z. B. in bestimmten Culturbedingungen, anezogen wurde. Mehr oder weniger haben ja die Culturbedingungen immer Einfluss auf den Zustand und damit auch auf die Sensibilität der Pflanze. Eine unter günstigen Umständen erwachsene Sinnpflanze ist z. B. leichter reizbar als eine kümmerlich ernährte, und bekannt ist, wie u. a. die im Dunklen erwachsenen Keimlinge heliotropisch empfindlicher sind, als die am Licht cultivirten Keimlinge derselben Pflanze. Wird auch durch derartige Culturbedingungen, ferner auch durch niedere Temperatur oder andere ungünstige äußere Verhältnisse, die Empfindlichkeit, also auch die Reizschwelle, verschoben, so kann es doch keinem Zweifel unterliegen, dass hinsichtlich der Unterschiedsempfindung die gleichen allgemeinen Relationen gültig bleiben.

Indem wir einen Intensitätsunterschied des äußeren Reizmittels, also eine einseitig überwiegende Wirkung des äußeren Reizmittels, als Ursache der auslösenden Wirkung ansprechen, der Pflanze also ein Unterscheidungsvermögen zwischen einem Mehr und Weniger des Reizmittels zuschreiben, tragen wir in jedem Falle den Thatsachen vollkommen Rechnung. Denn eine zur Richtungsbewegung führende auslösende Wirkung wird ja nur dann erzielt, wenn die Flanken des sensiblen Organismus einer verschiedenen Intensität des Reizmittels ausgesetzt sind, und sofern dieses nicht der Fall ist, das Reizmittel also gleichmäßig alle Flanken des Organismus trifft, bringt eine einseitige Verstärkung des auslösenden Agens eine Richtungsbewegung hervor. Es gilt dieses in gleicher Weise für Heliotropismus, Hydrotropismus, Thermotropismus, für die durch chemische Agentien und durch Contact auf allseitig empfindliche Organe hervorgerufenen Reizbewegungen, auch für Geotropismus, wie schon die bei gleichzeitigem Einfluß von Schwerkraft und Centrifugalkraft resultirenden Krümmungsbewegungen lehren.

Mit weiterer Zergliederung der näheren Bedingungen für auslösende Wirkung werden dann noch speziellere Fragen hinsichtlich der Angriffsweise des auslösenden Agens auftreten, wie z. B. die, ob das Agens in den Organismus eindringt oder nicht, oder ob die Pflanze durch jedwelchen

Helligkeitsunterschied gereizt werden kann, oder ob die Lichtrichtung maßgebend ist, oder besser gesagt, ob Lichtstrahlen nur insofern reizen, als sie die sensiblen Organe unter bestimmten Winkeln treffen und durchsetzen. Fragen dieser und anderer Art sind vollkommen berechtigt, aber, wie die Lösung auch ausfällt, die Empfindlichkeit der Pflanze gegen Intensitätsunterschiede bleibt doch die Ursache und die Bedingung für Reizung, denn ohne daß die Flanken von ungleich intensivem Lichte getroffen werden, vermögen Lichtstrahlen, gleichviel in welcher Richtung sie auftreffen, eine heliotropische Krümmung nicht zu erzeugen. Auch wenn die Bedingungen für Heliotropismus nicht gegeben sind, wird durch Belichtung dennoch, wie aus dem oben hinsichtlich der Unterschiedsempfindung mit steigendem Reize Gesagten folgt, diejenige Sensibilität in Anspruch genommen, auf der die heliotropische Empfindlichkeit bei Lichtunterschieden basirt. Ob nun thatsächlich eine bestimmte Richtung der Lichtstrahlen in dem Auslösungsvorgang entscheidend ist, wie SACHS annimmt, läßt sich zur Zeit nicht entscheiden, worauf ich schon früher bei der Darlegung der auf diesen Gegenstand bezüglichen Fragen hinwies¹⁾. Ebenso ist aus meinen²⁾ Bemerkungen über die Schwärmsporen zu ersehen, dass gewisse Experimente STRASBURGER'S, aus denen dieser die Lichtrichtung als Ursache der phototaktischen Reizwirkung der Schwärmsporen zu demonstrieren versuchte, den Beweis für diese Annahme nicht erbringen.

Fragen der eben besprochenen und anderer Art kommen auch für Reizwirkungen durch andere Agentien in Betracht. So ist es für die speziell von uns behandelten Richtungsbewegungen durch chemische Reize noch nicht endgültig entschieden, ob es eines Eindringens in den Organismus zur auslösenden Wirkung bedarf. Weiter läßt sich auch hier die Frage aufwerfen, ob für die Reizung allein entscheidend ist, dass die Moleküle des wirkenden Agens, ganz unabhängig von ihrem Bewegungszustand, ungleich dicht um den Organismus, resp. um dessen sensible Theile gelagert sind, oder ob es darauf ankommt, dass diese Moleküle in bestimmter Richtung auf den Organismus treffen oder in diesen eindringen. Hier werden wir uns freilich unbedenklich für die erste Alternative entscheiden, denn in dem durch die Diffusion erzielten Bewegungszustand als solchem ist keine Reizursache gegeben, da nur das spezifische Reizmittel, nicht aber unter gleichen Bedingungen irgend ein anderer diffundirender Körper auslösend wirkt.

Selbstverständlich ist aber die Bewegung dem Ausgangspunkt des Reizmittels zugewendet oder abgewendet³⁾, denn in der Verbreitung von einem Punkte aus liegt die Bedingung, dass die Reizursache einseitig

1) Pflanzenphysiologie 1884. Bd. 2. p. 330.

2) Ebenda. p. 373.

3) Transversale Reizstellungen sind zwar anders, jedoch gleichfalls in bestimmter Weise gegen das auslösende Agens orientirt.

intensiver wirkt und diese Sachlage bleibt dem Wesen nach dieselbe, wenn die Bewegung nach der Resultante aus verschiedenen Angriffsrichtungen orientirt wird. In diesem Sinne können wir also immer unbedenklich die Angriffsrichtung des Reizes als die Ursache des Reizes ansprechen und auf jene die Bewegungsrichtung beziehen.

XIII. Zusammenfassung einiger Resultate.

Zum Schlusse seien hier noch die wesentlichsten Resultate der Untersuchung zusammengestellt.

Manche mit freier Ortsbewegung begabte Organismen werden durch gewisse Stoffe zu locomotorischen Richtungsbewegungen veranlasst, sofern das Reizmittel in ungleicher Vertheilung in der umgebenden Flüssigkeit geboten ist. In den bisher bekannten Fällen steuern diese Organismen nach der concentrirten Lösung des Reizmittels hin, so lange nicht durch zu weit gehende Concentration eine abstoßende Wirkung veranlasst wird.

Für die Samenfäden der Farne und von Selaginella ist das spezifische Reizmittel Äpfelsäure, die gleich stark im freien Zustand und in ihren Salzen wirkt. Außerdem wurde nur noch in der Maleinsäure ein der Äpfelsäure analog, aber schwächer wirkender Körper kennen gelernt.

Das spezifische Reizmittel der Samenfäden der Laubmoose ist Rohrzucker.

Unbekannt ist noch, welche Stoffe das Einschwärmen der Samenfäden von Marsilia, Lebermoosen und Chara in das Archegonium dieser Pflanzen veranlassen, dessen entleerter Inhalt als Reizmittel wirkt. Nach den negativen Befunden gegen verschiedene Pflanzenstoffe muss das Reizmittel ein wenig verbreiteter Körper sein. Auch gegen den aus gekappten Pflanzenhaaren austretenden Inhalt verhielten sich die Samenfäden von Marsilia und Marchantia indifferent, ebenso gegen die aus dem geöffneten Archegonium der Laubmoose und der Farne sich entleerende Masse.

Für die schwärmenden Gameten von Chlamydomonas pulvisculus und Ulothrix zonata wurde kein spezifisches Reizmittel aufgefunden, und jene scheinen auch nicht durch eine gegenseitige Anziehung behufs der Copulation zusammengeführt zu werden.

Für schwärmende Spaltpilze ist jeder gute Nährstoff ein anlockendes Reizmittel. Diesen Organismen kommt also ein allgemeines Unterscheidungsvermögen gegen ein Mehr und Weniger von Nährstoffen zu, so wie sie auch ihre Richtungsbewegungen nach dem Sauerstoffbedürfniss reguliren.

Für die Schwärmsporen von Saprolegnia wurde anziehende Reizwirkung durch Fleischextrakt constatirt, das auch Trepomonas agilis, einen Organismus der Flagellaten, anlockt.

Die Empfindlichkeit der Samenfäden gegen ihre spezifischen Reizmittel ist sehr groß. Eine eben merkliche Reizwirkung auf die Samenfäden der Farne und von Selaginella übt noch eine Flüssigkeit mit 0.004 Proz. Äpfelsäure aus, und bei dieser Verdünnung reagiren auch noch die Samenfäden der Laubmoose auf Rohrzucker.

Diese Samenfäden lassen sich demgemäß als physiologisches Reagens benutzen und mit Hilfe der Spermatozoen der Farne ließ sich nachweisen, dass Äpfelsäure in den lebenden Zellen des Urmeristems und des Dauer-
gewebes vorkommt.

Für Spaltpilze wurde die Reizschwelle nicht genau ermittelt. Übrigens werden auch diese Organismen schon durch eine sehr geringe Menge eines guten, erst durch eine größere Menge eines weniger guten Nährstoffes angelockt.

Mit zu hoher Concentration kommt endlich eine abstoßende Wirkung zu stande. Diese ist allgemein durch die höhere osmotische Leistung der Stoffe bedingt, doch können daneben noch spezifische abstoßende Reize zur Geltung kommen. So fliehen die Samenfäden der Farne Säuren und Alkalien, und concentrirte Lösungen neutraler äpfelsaurer Salze wirken, außer durch ihre Concentration, noch spezifisch abstoßend. Analog scheint sich die Sache mit Fleischextrakt gegenüber Bacterien zu verhalten.

Unter den Spaltpilzen ist Spirillum sehr viel empfindlicher gegen Concentration der Lösung, als Bacterium termo.

So weit die Concentration nicht störend eingreift, ist das für die Beziehung zwischen Reiz und den in uns erweckten Empfindungen ermittelte WEBER'sche Gesetz auch der Ausdruck für das Verhältniss zwischen Reiz und Reaction der Samenfäden der Farne. Demgemäß muss, um eben merkliche Empfindung zu erzielen, der Zuwachs des Reizes stets in demselben Verhältniss stehen zu der Reizgröße, zu welcher er hinzukommt. Hiernach wächst die Empfindung (Reaction) nur in arithmetischer Progression, während der Reiz in geometrischer Progression zunimmt. Auch lehren diese Erfahrungen, dass Äpfelsäure in homogener Lösung, obgleich sie nicht richtend wirkt, doch einen Reiz auf die Samenfäden ausübt, welcher die Empfindlichkeit dieser mit steigender Concentration der Äpfelsäure abstumpft. Diese für die Samenfäden der Farne näher verfolgten Beziehungen gelten wahrscheinlichst auch für die Reizwirkungen auf Spermatozoen der Laubmoose und auf Bacterien.

Die Reizursache wird durch die spezifische Natur der Stoffe, nicht durch die Diffusionsbewegung als solche bedingt. Naturgemäß steuern die nach der concentrirteren Lösung sich hinbewegenden Organismen in einer der Diffusionsbewegung entgegengesetzten Richtung.

Die Reizung bewirkt eine bestimmte Richtung der Körperachse und erzielt hiermit, dass diese ohnehin mit fortschreitender Bewegung begabten

Organismen nach bestimmter Richtung hin fortschreiten. Bei den Samenfäden geschieht dieses ohne eine merkliche Beschleunigung der Bewegung, welche aber bei Bakterien gewöhnlich deshalb lebhafter wird, weil die Zufuhr von Nährstoffen, unabhängig vom Richtungsreize, eine beschleunigte Bewegungsthätigkeit veranlasst. Übrigens wird bei den in ihrer Bewegung hin und hergehenden Spaltpilzen die nach dem Reizmittel hinzielende Bewegung relativ vermehrt.

Hohe Concentration, Säuren, Alkalien und andere Körper wirken abstoßend, indem sie den umgekehrten Einfluss ausüben, wie anlockende Reizmittel.

Bei den Wendungen durch Richtungsreize bleibt die Körperform der Samenfäden unverändert und in einer entsprechend modifizirten Thätigkeit der Wimpern muss die mechanische Ursache der Körperwendung liegen. Das gilt auch für die Schwärmsporen von *Saprolegnia* und ebenso scheint es bei Spaltpilzen zu sein.

Ob nur die Wimpern sensibel sind oder ob der ganze Körper gegen chemische Reize sensibel ist, wurde nicht entschieden. Indess sind die Wimpern der Samenfäden gegen Contact empfindlich und dieses spricht sich bei *Chlamydomonas* darin aus, dass Berührung der Wimpern, aber auch andere äußere Ursachen, ein vorübergehendes Stillstehen der sich ausstreckenden Wimpern verursachen.

Die schraubigen Samenfäden der Farne und von *Marsilia* werden dagegen durch mechanische Wirkungen länger gestreckt, wenn sie sich in enge Kanäle eindringen oder wenn der Samenfaden energisch vorwärts strebt, während sein hinteres Ende festgeklebt ist.

Die spezifischen chemischen Reizwirkungen sind der Bedeutung und Lebensweise dieser Organismen zweckentsprechend, denn die Samenfäden werden dadurch zu der Eizelle, die Spaltpilze und Schwärmsporen von *Saprolegnia* zu ihrer Nahrung geführt, während das Fliehen höher concentrirter Lösungen Schutz gegen die nachtheilige Wirkung dieser gewährt.

Das in dem sich entleerenden Inhalt des Halskanals befindliche Reizmittel hat im allgemeinen die Aufgabe, die ohnehin in die Nähe des Archegoniums (oder der Eizelle) kommenden Samenfäden zu der Eizelle zu führen. Die gleichzeitig entleerten schleimigen Stoffe nützen dadurch, dass sie das Wegwaschen des löslichen Reizmittels erschweren und durch Verlangsamung der Bewegung schnell heranschließender Samenfäden deren Eindringen in den Halskanal befördern.

Die Reizmittel für Samenfäden sind spezifisch verschieden, doch scheint, nach den Erfahrungen an Farnen und Moosen, in dem engeren Verwandtschaftsbezirke derselbe Stoff als Reizmittel zu fungiren. Demgemäß ist es nicht darauf abgesehen, durch besondere Reizmittel die Vereinigung von Sexualzellen der einer Familie angehörigen Pflanzen zu

vermeiden, und in der That dringen, wenigstens bis an die Eizelle, die Samenfäden anderer Arten in das Archegonium eines Farnkrautes. Die Samenfäden von *Selaginella* gelangen in dieses nicht, weil sie den mechanischen Widerstand des Schleimes nicht zu überwinden vermögen.

Bei *Marsilia* hat die Gallerthülle der Makrospore die Aufgabe, die zufällig an sie stoßenden Samenfäden dieser Pflanze festzuhalten und so auch für das Vorhandensein von Spermatozoiden in dem über dem Archegonium befindlichen Gallertrichter zu sorgen. Diese Samenfäden werden dann mit dem Öffnen des Archegoniums nach diesem, durch die spezifische Reizwirkung des entleerten Stoffes, gelockt.

Auch bei *Chara* scheint das spezifische Reizmittel wesentlich zur Führung derjenigen Samenfäden zur Eizelle zu dienen, welche ohnehin in den sie festhaltenden gallertartigen Schleim der Eiknospe gelangten, über den hinaus die anziehende Wirkung jedenfalls gering oder vielleicht gar nicht vorhanden ist. Es liegen hier offenbar Anpassungen an die den submersen Pflanzen gebotenen Verhältnisse vor.

Ansammlungen frei beweglicher, nach allen Richtungen hinsteuender Organismen kommen naturgemäß zu stande, wenn immer die an einen bestimmten Punkt gelangenden Individuen festgehalten werden. Hierauf beruht die Ansammlung der Samenfäden in der Gallerthülle der Makrospore von *Marsilia*. Eine auffällige derartige Ansammlung kommt auch zu stande, wenn man einen Quitten- oder Leinsamen zu *Pandorina* oder *Gonium* bringt, die in dem aus der Samenschale im Wasser hervorquellenden Schleime in ihrer Bewegung gehemmt und festgehalten werden.

Verlag von Wilhelm Engelmann in Leipzig.

Osmotische Untersuchungen.

Studien zur Zellmechanik

von

Dr. W. Pfeffer,

Professor der Botanik in Basel.

Mit 5 Holzschnitten. gr. 8. 1877. M 7. —

Pflanzenphysiologie.

Ein Handbuch des Stoffwechsels und Kraftwechsels in der Pflanze

von

Dr. W. Pfeffer,

Professor an der Universität Tübingen.

I. Band: **Stoffwechsel.** Mit 39 Holzschnitten. gr. 8. 1881. M 8. —

II. Band: **Kraftwechsel.** Mit 40 Holzschnitten. gr. 8. 1881. M 10. —

Arbeiten

des

botanischen Instituts in Würzburg.

Herausgegeben

von

Prof. Dr. Jul. Sachs.

III. Band. 1. Heft. Mit 16 Holzschnitten. gr. 8. 1884. M 5. —

Inhalt: I. *J. Sachs*, Ein Beitrag zur Kenntniss der Ernährungsthätigkeit der Blätter. — II. *Ders.*, Ueber die Wasserbewegung im Holz. — III. *Dr. J. Dufour*, Beiträge zur Imbibitionstheorie. — IV. *W. Gardiner*, On the continuity of the protoplasm through the walls of the vegetable cells. — V. *Dr. E. Detlefsen*, Ueber die Abnahme der Helligkeit im Innern eines Zimmers. Mit 2 Holzschn. — VI. *Dr. A. Hansen*, Ueber Sphärokrystalle. Mit 3 Holzschn. — VII. *Ders.*, Der Chlorophyllfarbstoff. — VIII. *Dr. E. Detlefsen*, Ueber die Biegungselasticität von Pflanzentheilen. I. Theil. Mit 11 Holzschnitten.

Vorlesungen

über

Pflanzen-Physiologie

von

Julius Sachs.

Mit 455 Holzschnitten. gr. 8. 1882. geh. M 22. —, geb. M 24. —

Grundzüge

der

Physiologischen Psychologie

von

Wilhelm Wundt,

Professor an der Universität zu Leipzig.

Zweite, völlig umgearbeitete Auflage.

Mit 180 Holzschnitten. 2 Bände. gr. 8. 1880. M 18. —, geb. M 21. —

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.



Pfeffer, W.

Locomotorische Richtungsbewegungen durch chemische Reize (Aus den '
Untersuchungen aus dem botanischen Institut zu Tübingen Bd. I. Heft 3 p. 36
3 - 482)

Leipzig 1884

Phyt. 516 xlb

urn:nbn:de:bvb:12-bsb11883029-0